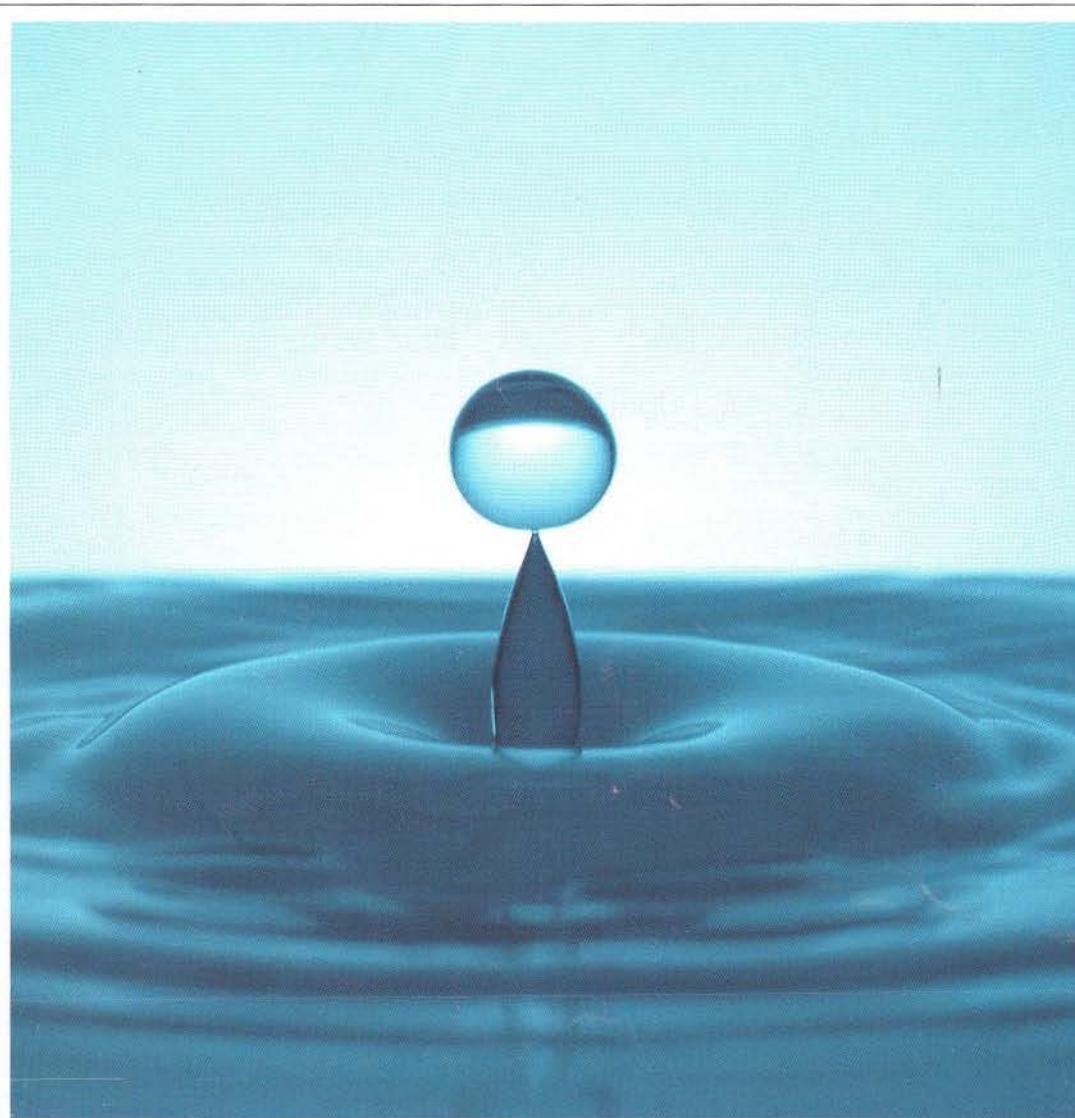


3

58^e jaargang

NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



**FOURIERANALYSE/LITERATUUR TOT PULP/GAS ALS HORMOON/
DE POSTCODE-CODE/BIERCHEMIE/GRAAN**

HART- EN VAATZIEKTEN.

60.000 SLACHTOFFERS PER JAAR. HOE LANG NOG?



Sinds begin jaren zeventig is er dankzij uw giften veel bereikt. Hart- en vaatziekten zijn, vooral in de jongere leeftijdsgroepen, sterk teruggedrongen.

Maar 60.000 slachtoffers per jaar zijn er nog steeds 60.000 te veel. De Hartstichting moet dus doorgaan in haar strijd. Maar is daarbij geheel afhankelijk van

giften van particulieren en bedrijven. Laat uw hart spreken. Giro 300. Bank 70.70.70.600



nederlandse hartstichting
vrienden van de hartstichting

Sophialaan 10, 2514 JR 's-Gravenhage.

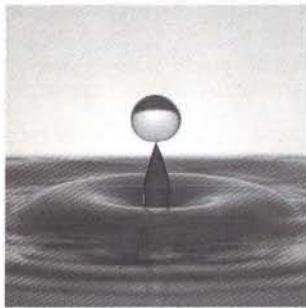
Nationale Hartweek 2 t/m 8 april 1990.

NATUUR'90 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag



Een waterdruppel die in het water valt, stijgt direct daarna weer op en trekt een waterzuil in de vorm van een kegel met zich mee. Vanaf pag. 178 leest u hoe de Franse wiskundige Jean Fourier dit ingewikkelde, met een belichtingstijd van 25 microseconden vastgelegde golftpatroon zou beschrijven als een som van simpele componenten.

(foto: Photoanalyse Dr Brill, Hofgeismar, BRD)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,

Drs R.W. van Nues, Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretaresse: R.A. Bodden-Welsch.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 04759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.). Tel.: 04754-81223.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044. Fax: 043-216124.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.
Tel.: 00-3143254044. Fax: 00-3143216124.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

EURO
ARTIKEL

natu vak



ISSN 0028-1093
Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.

INHOUD

AUTEURS X

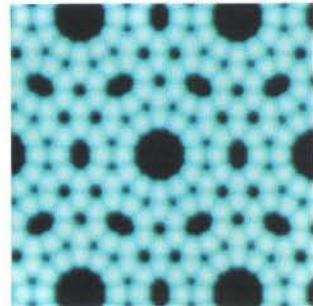
HOOFDARTIKEL

Graan 177

FOURIERANALYSE 178

H.M. Nieland

Wat hebben het onderzoek naar de structuur van kristallen, hartafwijkingen, de aardkorst en de menselijke spraak met elkaar gemeen? Dit: al dit onderzoek zou onmogelijk zijn als niet zo'n 180 jaar geleden een kouwelijke Fransman zich was gaan interesseren voor het verschijnsel warmte. Jean Baptiste Joseph Fourier stelde zich de vraag hoe je het temperatuurverloop in een lichaam kunt berekenen, als de begintemperatuur in alle punten van dat lichaam bekend is. De door hem bedachte Fouriermethode is in de hedendaagse wiskunde een niet meer weg te denken begrip.



VAN LITERATUUR TOT PULP 192

Zuur papier ontzuurd

Bruno Ernst

Toen in 389 na Chr. de beroemde bibliotheek van Alexandrië in vlammen opging, werd de culturele vooruitgang van de hele wereld op allerlei gebied vertraagd. Op dit ogenblik voltrekt zich eenzelfde ramp op veel grotere schaal. Een aanzienlijk deel van ons op papier vastgelegd cultuurbezit gaat voor altijd verloren. Hier slechts één voorbeeld: 's werelds grootste bibliotheek in Washington bezit ongeveer veertien miljoen boeken. Van een kwart daarvan is het papier zó bros geworden, dat men ze nauwelijks nog kan raadplegen zonder dat het papier scheurt of zelfs verpulvert.

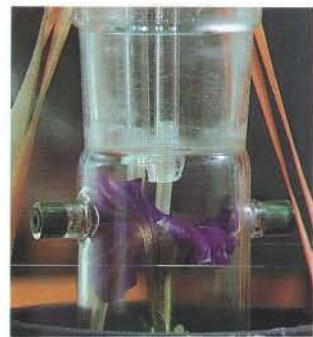


H₂C=CH₂ 204

Een gas als hormoon

L.A.C.J. Voesenek, F.J.M. Harren en E.J. Woltering

Alle planten produceren ethyleen. Zelfs kleine hoeveelheden van dit gasvormige plantenhormoon leiden tot een veelheid aan reacties in een plant, uiteenlopend van 'supergroei' van bladstelen tot verwelkking van de bloemen en de rijping van fruit. Een uiterst gevoelige, lasergestuurde foto-akoestische meettechniek maakt het mogelijk de zeer geringe ethyleenafgifte van planten onder natuurlijke omstandigheden te registreren. De nieuwe methode verlegt daarmee de grenzen van het mogelijke in het onderzoek naar dit hormoon.



NATUUR '90 & TECHNIEK

maart / 58^e jaargang / 1990



DE POSTCODE-CODE

Sorteren op strepen

Th.C.C.M. Snellen, P.C. van der Kraan
en W.A. Klein

216

De postcode, gebruik hem goed. Tijdens de automatische verwerking van poststukken lezen machines de postcode en zetten die om in een streeppjescode. Aan de hand van deze code vindt de uiteindelijke sortering plaats. Sommige poststukken ontlopen door hun afmeting de sorteermachines en vinden handmatig de weg naar hun bestemming. De ontvanger kan dit aan de envelop zien: de mysterieuze rij verticale oranje streepjes rechts onder het adres ontbreekt.



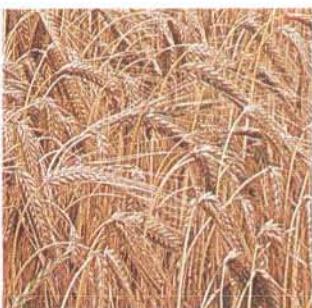
MOUT + WATER + HOP → BIER

Chemie onder de schuimkraag

D. De Keukeleire

228

Door de hele levensduur van bier loopt een zeer complexe chemiedraad. Het brouwen van bier uit mout, water, hop en gist is pure biotechnologie. In grote koperen ketels ontwikkelen zich de smaak en het aroma, die we te danken hebben aan een fijn samenspel van bitterstoffen en geurcomponenten. Ten slotte worden, na consumptie door de mens, alle ingrediënten afgebroken en omgezet. Wie begrip heeft van de subtile chemie die achter een glas bier schuilgaat, zal de biersmaak zeker meer apprecriëren.



GRAAN

Het oude goud

C.C. Bakels

240

Wie kent niet het verhaal van de Vrouwe van Stavoren? Zij leidde een bloeiende handelsonderneming en rederijs. Eens vroeg zij haar meest ervaren kapitein als retourvracht het kostbaarste mee te nemen wat hij kon vinden. Het werd graan en dat beviel mevrouw niet. "Over welk boord is het geladen, dan gaat het over het andere weer overboord", tierde zij. Graan was volgens haar geen 'schat'. Ze had ongelijk. Graan schittert wel niet als goud en edelstenen, maar het is de basis van rijkdom.

ANALYSE EN KATALYSE/ACTUEEL

"Het publiek heeft recht op kennis"/
Digitale partnerkeuze/Aminozuur-trio II

250

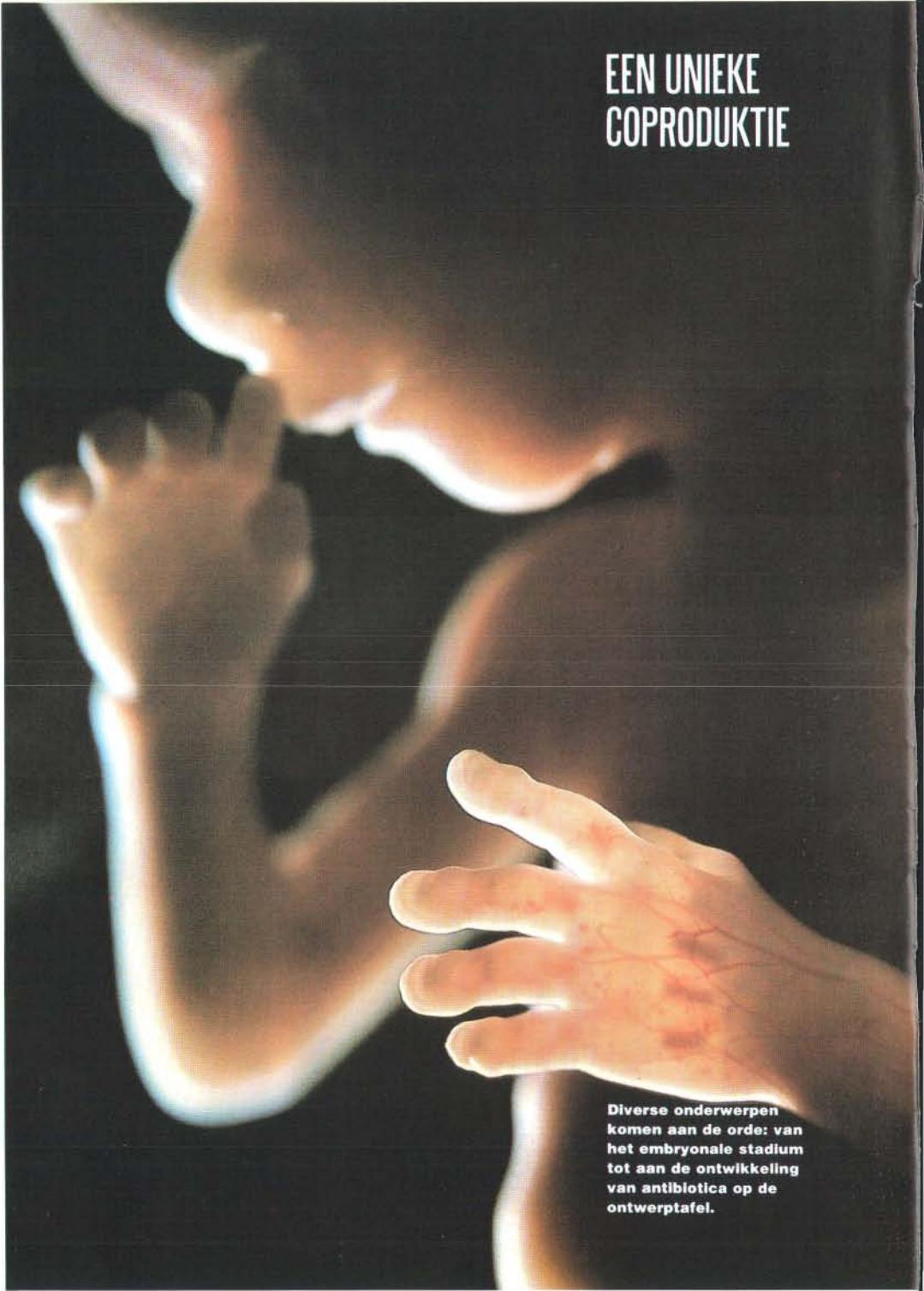
SIMULATICA

Zaagtand

260

PRIJSVRAAG

262



EEN UNIEKE COPRODUKTIE

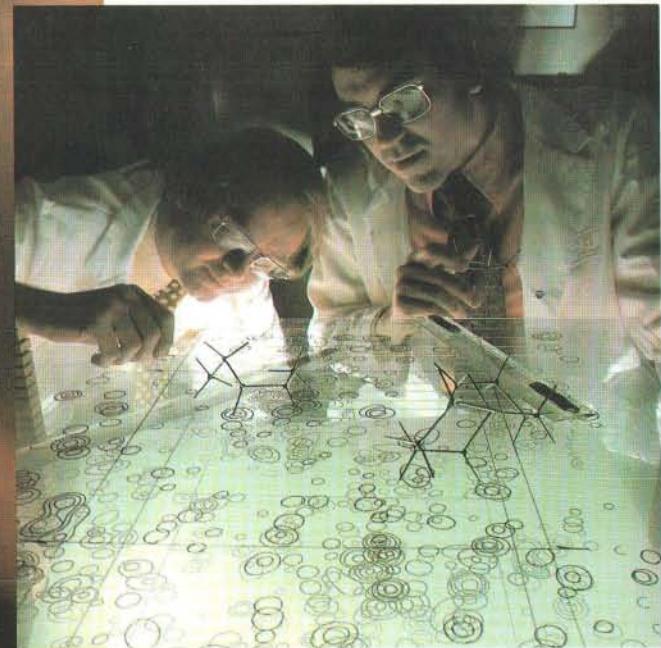
Diverse onderwerpen komen aan de orde: van het embryonale stadium tot aan de ontwikkeling van antibiotica op de ontwerptafel.

HET MENSELIJK Lichaam

EEN ONGELOOFLIJKE MACHINE



PREMIEBOEK
1990

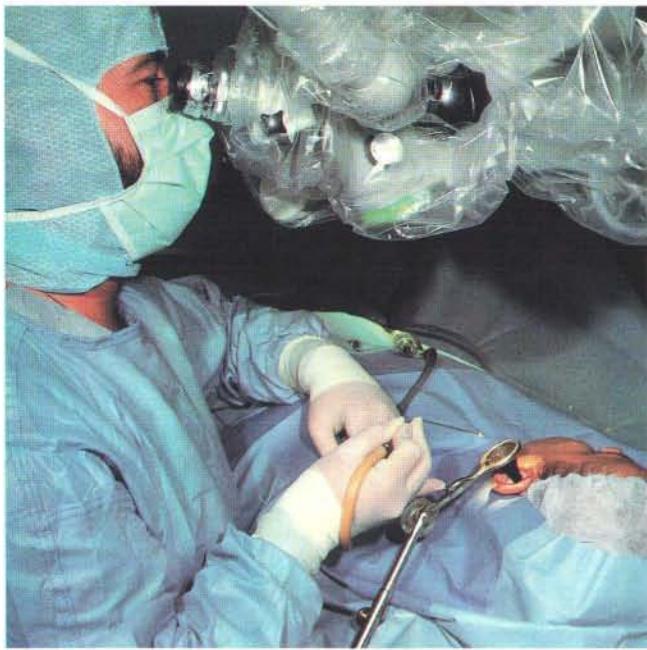


Het menselijk lichaam

Een ongelooflijke machine

is de nieuwste uitgave van Natuur & Techniek. Wij stellen dit boek graag aan onze abonnees ter beschikking als PREMIEBOEK 1990, tegen de speciale prijs van fl. 95,- of 1860 F (excl. verzendkosten), betaalbaar in twee termijnen; de normale prijs is fl. 145,- of 2845 F. U kunt het boek bestellen m.b.v. het ingesloten overschrijvingsformulier. Voor nabestellingen kunt u ons bellen in Nederland: 0(0-31)43-254044.

Een nieuwe uitgave van Natuur & Techniek in samenwerking met de National Geographic Society



De mens: een magisch wezen

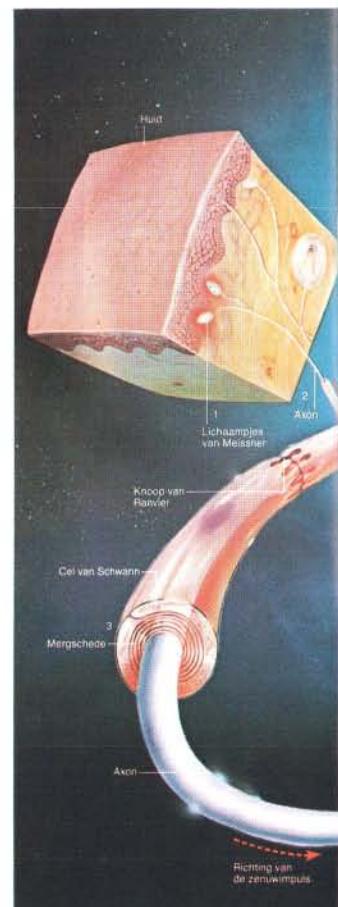
Een van onze positieve eigenschappen is, dat we een taal hebben en deze gebruiken om over onszelf na te denken. De oorspronkelijke titel van dit boek luidde: *The Incredible Machine*, De fantastische machine. Het is in dit verband aardig op te merken dat het woord machine, dat op het eerste gezicht het geestelijke aspect van de mens geheel buiten beschouwing lijkt te laten, afgeleid is van het Indo-europese 'magh', dat 'macht' betekent en verwant is aan 'magisch'. Een magisch wezen, daar gaat dit boek over.

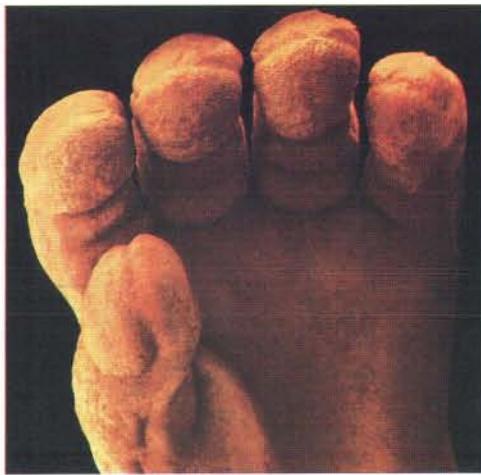
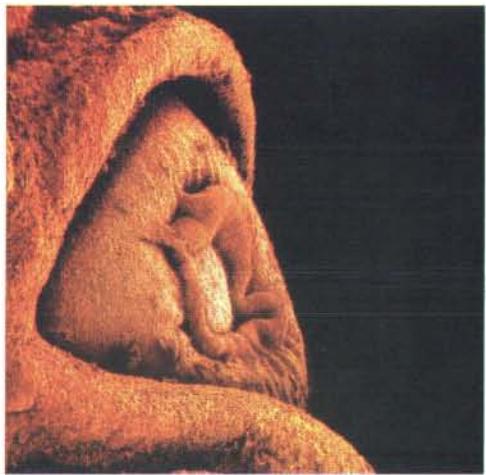
De wijsheid van het lichaam

Evolutie is gebaseerd op selectie: iets toevoegen of weghalen. Een van de meest sublieme verfijning is die het resultaat zijn van selectie, is de "wijsheid van het lichaam", zoals de Amerikaanse fysioloog Walter B. Cannon het uitdrukt. Tot op zekere hoogte is die wijsheid in elk organisme te vinden. Miljarden jaren, veranderingen, afwisseling van dood en leven, hebben geleid tot een hoogst opmerkelijk, zichzelf regulerend systeem, homeostase genoemd. Dankzij het homeostatische principe werken biologische systemen samen om de inwendige stabiliteit van het lichaam te beschermen tegen de bedreigingen van de natuur.

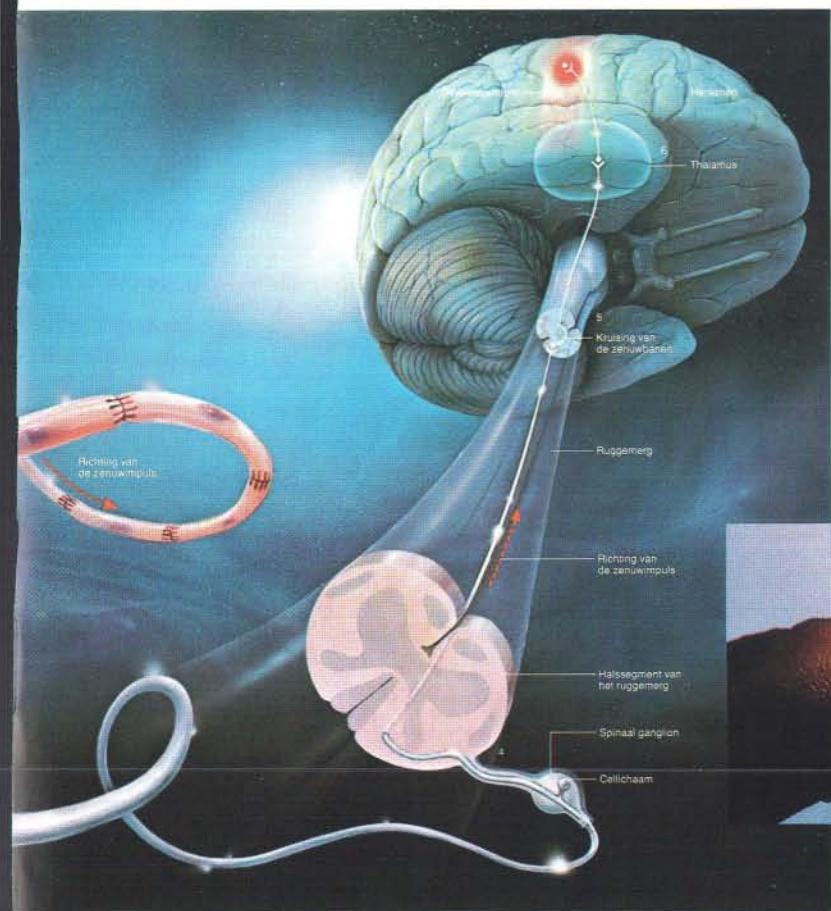
Een reportage over de mens

Tot voor kort was dit boek ondenkbaar geweest. Want met name de laatste tijd hebben de biomedische wetenschappen nieuwe en verrassende inzichten gekregen in de complexe processen die zich in ons lichaam afspeLEN. Door vele nieuwe technieken is er zoveel informatie beschikbaar gekomen dat alleen de vakspecialisten deze tot in details kunnen overzien. De befaamde National Geographic Society heeft, met een omvangrijke staf aan medewerkers, dat brede veld doorvorst en voor een breed publiek toegankelijk willen maken. En dit is het resultaat: *Het menselijk lichaam – Een ongelooflijke Machine*. Het boek doet uitvoerig verslag over alle functies van het menselijk lichaam: van DNA tot en met een volwassen organisme, van het bloed tot en met het immuunsysteem, van de waarneming tot en met de verwerking van die informatie in de hersenen. Kortom: een reportage over de mens, van de wieg tot aan het graf.





De aanleg van signaalverwerkende weefsels en organen, hun functioneren, alsmede hun herstel na een aandoening krijgen in *Het menselijk lichaam – een ongelooflijke machine* ruim de aandacht.



In dit boeiende en eigentijdse boek, dat oorspronkelijk door de beroemde National Geographic Society in de Verenigde Staten werd uitgegeven en waarvan thans in samenwerking met Natuur & Techniek een Nederlandstalige editie verschijnt, komen alle aspecten van het menselijk lichaam aan de orde. Met meer dan 400 schitterende foto's en vele tekeningen wordt het mysterie van het menselijk lichaam in beeld gebracht.

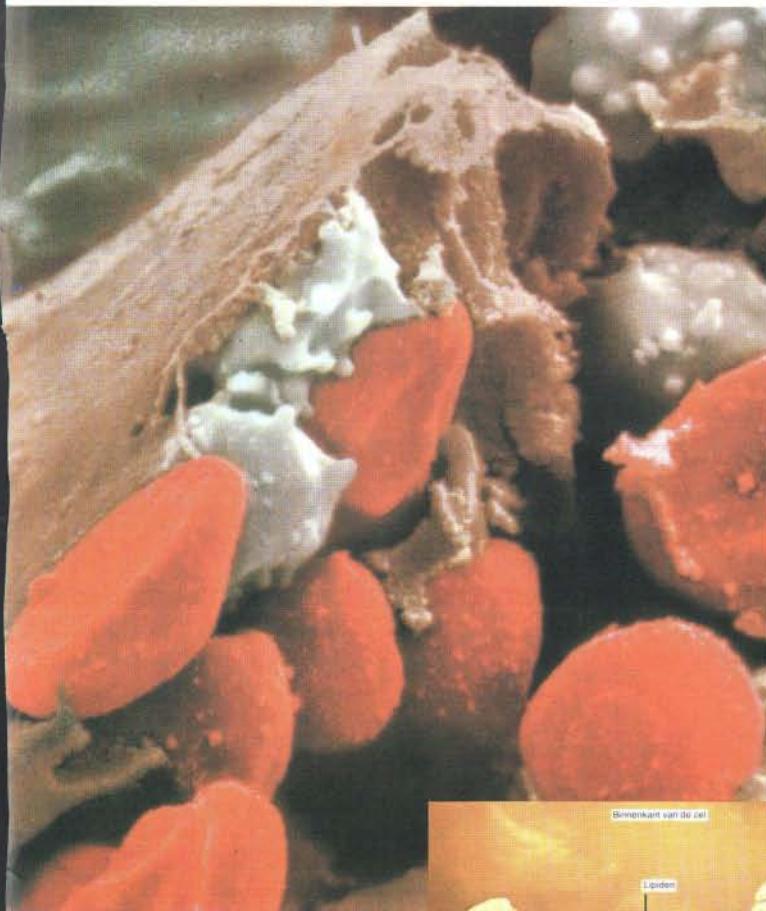


Een nieuwe coproductie

Het menselijk lichaam werd door vele deskundigen, onder begeleiding van een omvangrijke staf van de National Geographic Society, geschreven en vormgegeven. Het boek is voorzien van talrijke illustraties: vele foto's, onder andere van Lennart Nilsson, een schat aan verduidelijkende illustraties in de vorm van art-impressions en computersimulaties. Begeleid door de staf van Natuur & Techniek, hebben prof.dr. J.A. Bernards en mw. drs. C. Sykora een Nederlandstalige uitgave tot stand gebracht.

Onderzoek van de laatste tien jaar

Hoewel medici en biologen vijftig jaar geleden erg zelfverzekerd waren en hun kennis over de bouw en functie van het menselijk lichaam enorm groot leek, zijn de tijden veranderd. Het merendeel van wat in dit boek wordt beschreven, is gloednieuwe informatie, het resultaat van onderzoek van de laatste tien jaar. Bovendien zijn verschillende fantastische foto's in dit boek het resultaat van recente ontwikkelingen in de fotografie, die enkele jaren geleden nog voor onmogelijk werden gehouden.

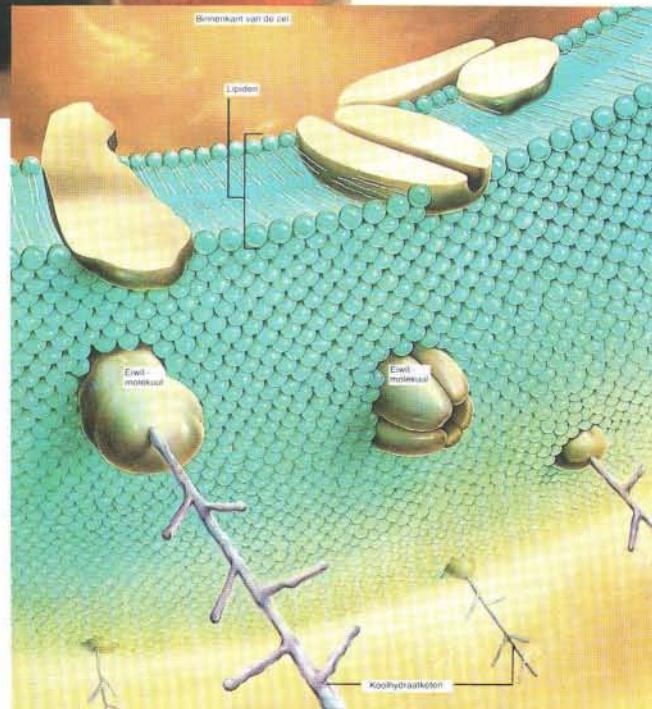


Formaat 23 x 28 cm
Geheel in vierkleurendruk
Gebonden in linnenband
met stofomslag
384 pagina's met 413
afbeeldingen
Prijs: fl. 145,- of 2845 F
Voor onze abonnees:
fl. 95,- of 1860 F (Betaalbaar in 2 termijnen)

Het boek belicht niet alleen de cellulaire processen die het lichaam bescherming bieden bij een verwonding, maar informeert ook over andere wijzen van genezing, zoals accupunctuur.

De tijden zijn inderdaad veranderd. We staan aan het begin van een revolutie in de biologie, die zo'n veertig jaar geleden begon met de ontwikkeling van de molekulaire genetica. Intussen gaat de geneeskunde verder in het kielzog van de biologische wetenschappen.

De biologie is begonnen duidelijke antwoorden te geven op problemen die eertijds buiten het bereik van de wetenschap leken te liggen. En elk nieuw antwoord heeft weer nieuwe en nog intrigerender vragen opgeroepen, met name over het wezen van de mens en zijn plaats in de levende natuur.



Dr H.M. Nieland ('Fourier') is in 1938 in Den Helder geboren. Hij studeerde theoretische fysica in Utrecht en promoveerde in 1971 in Nijmegen. Hij werkte twee jaar aan de Russische academie van wetenschappen, was hoofd voorlichting van het rekencentrum van de RU Groningen en werkzaam bij de Dienst Wetenschapsvoortlichting. Sinds 1986 is hij stafmedewerker wetenschapsvoortlichting van het CWI.

Bruno Ernst ('Papier') is het pseudoniem waaronder J.A.F. de Rijk schrijft over exacte wetenschappen. Zijn publicaties over alfa-wetenschappen verschijnen onder de naam Ben Engelhart. De Rijk werd in 1926 in Rotterdam geboren. Hij was behalve onderwijzer met akten wis- en natuurkunde, leraar aan een ulo, hbs, atheneum, gymnasium en een pedagogische academie.

Drs L.A.C.J. Voesenek ('Ethyleen') is in Oudenbosch geboren op 23 augustus 1957. Hij studeerde biologie aan de KU Nijmegen. Hij was een jaar biologieleraar en enkele maanden economieleraar. In 1985 keerde hij als promové-assistent terug naar de KUN; in april hoopt hij te promoveren. Sinds november is hij universitair docent van de Nijmeegse afdeling Experimentele Plantenoecologie.

Dr ing F.J.M. Harren ('Ethyleen'), geboren op 21 juli 1954 in Haarlem, studeerde natuurkunde aan de KU Nijmegen. Hij deed daar na zijn studie onderzoek bij de afdeling Molekuul- en Laserfysica, op het gebied van laserfoto-akoestiek, waarop hij in 1988 promoveerde. Na zijn promotie zette hij het onderzoek voort.

Ing E.J. Woltering ('Ethyleen') is in 1955 geboren in Vlissingen. Hij studeerde tot 1979 tuinbouw aan de Agrarische Hogeschool in Utrecht. Hij deed tien jaar onderzoek naar de houdbaarheid van sierteeltgewassen en verwacht in april te promoveren. Sinds september is hij onderzoeker bij het Agrotechnologisch Onderzoeksinstiut te Wageningen.

Ir Th.C.C.M. Snellen ('Postcode') studeerde van 1978 tot 1985 technische natuurkunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven. Sinds zijn studie werkt hij bij het Neherlaboratorium van de PTT mee aan de ontwikkeling van de posttechniek. Snellen werd op 18 september 1954 in Haaren geboren.

Ing P.C. van der Kraan ('Postcode') werd op 8 juni 1941 in Zoetermeer geboren. Hij studeerde van 1958 tot 1962 elektrotechniek aan de hts te 's-Gravenhage. Vanaf 1966 is hij verbonden aan het Neherlaboratorium van de PTT, waar hij meewerk aan de vervolmaking van de posttechniek.

W.A. Klein ('Postcode'), in 1947 geboren in Schiedam, studeerde enkele jaren elektrotechniek en volgde een interne managementopleiding van de PTT. Hij was organisatie-adviseur van het postbedrijf en werkte mee aan onderzoek, ontwikkeling en invoering van automatische postsortering. Sinds 1988 is hij adviseur technische ontwikkeling bij PTT-Post.

Dr D. De Keukeleire ('Bier') is op 28 juli 1943 geboren in Beerlegem. Hij studeerde scheikunde aan de RU Gent, waar hij in 1971 promoveerde. Hij is onderzoeksleider bij het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek, aan de RU Gent. Hij schreef tal van publicaties over hop en bier en is bekroond met de meest prestigieuze wetenschappelijke bier-prijzen van België.

Prof dr C.C. Bakels ('Graan') werd op 17 december 1942 in Heerlen geboren. Zij studeerde van 1960 tot 1967 biologie aan de RU Leiden, waar ze in 1978 promoveerde. Sinds haar studie is ze medewerkster van de Leidse universiteit, momenteel als universitair hoofddocent ecologische prehistorie en sinds 1988 ook als bijzonder hoogleraar in de paleo-economie.

Inhoudsopgave Natuur & Techniek op diskette

Sinds kort is er een inhoudsopgave van Natuur & Techniek op floppydisk beschikbaar. Jan Boon uit Zwolle heeft alle titels, subtitels, auteurs, rubrieken en een selectie trefwoorden vanaf oktober 1974 ondergebracht in een MS-DOS/dBaseIV-bestand.

Belangstellenden krijgen een kopie van dit bestand toegestuurd nadat zij f 20,- hebben overgemaakt op gironummer 3447819 ten name van J. Boon te Zwolle, onder vermelding van 'bestand Natuur & Techniek' en het gewenste disketteformaat, te weten 3,5" of 5,25".

Graan

Toen C.C. Bakels haar artikel over graanproductie in de oudheid (pag. 240) schreef, kon zij nog nauwelijks het idee hebben gehad dat haar conclusie, namelijk dat een grote graanproductie de eerste voorwaarde was voor de ontwikkeling van een hoge cultuur, een paar weken voor het verschijnen van dit nummer met gejuich zou zijn overgenomen door honderden Nederlandse akkerbouwers. Met graagte zouden die op hun demonstratieve tractorrondritten door het land de kreet 'graan brengt rijkdom' hebben overgenomen.

Niet dat die akkerbouwers daar noodzakelijkerwijs gelijk mee zouden hebben gehad, al moet worden toegegeven dat de conclusie nog steeds niet algemeen ongeldig is geworden. Voor menig arm land geldt zonder twijfel nog steeds dat voldoende aanwezigheid van basisvoedsel (door eigen productie, of toch maar weer met graanschepen aangevoerd) een voorwaarde is om tot rijkdom te komen: alleen als er voldoende voedsel is kunnen sommigen worden vrijgemaakt voor de voortbrenging van andere produkten.

Die situatie zijn we in het Westen al lang ontgroeid; in de geïndustrialiseerde samenlevingen zal een rol zoals die in de door Bakels beschreven tijden door graan werd ingenomen, eerder toevalen aan energie en technische kennis.

De overproductie van graan is niet alleen een gevolg van de grotere oplagen en de geavanceerde produktie-technieken, het is vooral veroorzaakt door verandering in de politieke situatie en inzichten. Tot de Tweede Wereldoorlog gold bijvoorbeeld dat het voor een land strategisch niet verantwoord was minder graan voort te brengen dat voor de eigen bevolking nodig was. Een land werd toen gezien als een economisch-politiek-militaire eenheid, die in beginsel op zichzelf moest kunnen bestaan. Vooronderstelling daarbij was, dat zo'n land over een infrastructuur, vooral een handels- en transportsysteem beschikte, waarbij wat in Groningen of Brabant werd geproduceerd beschikbaar was in Zeeland of Henegouwen. Zodra, als in de hongerwinter '44-'45 het geval was in het westen van Nederland, die infrastructuur ontbreekt vallen we terug in de door Bakels beschreven situatie van dorpsgewijze voedselvoorziening: ten minste één dorp heeft die winter beter overleefd dat de omliggende, doordat er een grote boer was die over extra graan beschikte.

Op dit moment is de veronderstelling dat in elk geval West-Europa zo'n eenheid is met een voldoende infrastructuur – en dat is voor het ogenblik zo gek nog niet. We eten in Nederland hoegenaamd geen brood van Nederlands graan, in Griekenland eten ze Nederlandse feta-kaas, en in supermarkten in het Amerikaanse westen kan men soms alleen paprika's uit Naaldwijk kopen. Waarom zou in Nederland (te duur?) graan moeten worden verbouwd?

Waarschijnlijk het belangrijkste argument daarvoor zou kunnen liggen in de vraag of die – voorlopig internationale, en dus hoegenaamd niet uit Nederland te beheersen – politiek-economische infrastructuur nu echt al die stabiliteit heeft die wordt verondersteld. Op andere gebieden, zoals de wetenschappelijke en technische opleidingen en het onderzoek, gaan we daar feitelijk nog niet van uit; elk land zorgt er zorgvuldig voor alle opleidingen en zoveel mogelijk onderzoek in eigen land te hebben. Maar of dat ook zo zal blijven? En of dat ook zo moet blijven?

Fourier **ANALYSE**

Wat hebben het onderzoek naar de structuur van kristallen, hartafwijkingen, de aardkorst en de menselijke spraak met elkaar gemeen? Dit: al dit onderzoek zou volstrekt onmogelijk zijn als niet zo'n 180 jaar geleden een onbekende, kouwelijke Fransman zich ook wetenschappelijk was gaan interesseren voor het verschijnsel warmte. Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), wiskundige en ambtenaar onder Napoleon, stelde zich toen de vraag hoe je het temperatuurverloop in een lichaam kunt berekenen, als de begin temperatuur in alle punten van dat lichaam bekend is. De oplossing die hij voor dit vraagstuk bedacht, had zulke verstrekkende gevolgen, dat sindsdien de Fouriermethode in vrijwel elk gebied van de natuurwetenschappen en de wiskunde tot op de huidige dag een niet meer weg te denken begrip is.





H.M. Nieland

*Centrum voor Wiskunde
en Informatica
Amsterdam*

Sinds 1738 bespelen organisten het Christian Müllerorgel in de St. Bavo, de Grote Kerk te Haarlem. Ook Wolfgang Amadeus Mozart illustreerde daar, op tienjarige leeftijd, welluidend de stelling van Jean Fourier. Een orgel voegt een aantal simpele tonen samen tot een ingewikkelder geluidspatroon. De Franse wiskundige betoogde dat elk verschijnsel, omschreven in termen van een complexe wiskundige functie, te benaderen is als een som van een beperkt aantal eenvoudige sinusoiden.

De Fransman Jean Baptiste Joseph Fourier toonde reeds als jongeman een grote begaafheid in de wiskunde. Evenals zijn tijdgenoot Napoleon Bonaparte – die hij enige tijd diende als bestuursambtenaar in Egypte – wilde hij artillerie-officier worden. Als kleermakerszoon werd hij echter niet toegelaten tot de officiersopleiding aan de Militaire Academie. In plaats daarvan volgde Fourier toen een priesteropleiding, maar liet die varen toen hij een leerstoel in de wiskunde kreeg aangeboden aan diezelfde Academie. Voor deze baan was zijn lage afkomst kennelijk geen bezwaar.

Kort na zijn verblijf in Egypte – waaraan hij misschien zijn hang naar een warme huiskamer heeft overgehouden – begon Fourier het probleem van de warmtegeleiding te bestuderen. Daarvoor was van diverse kanten belangstelling ontstaan. Men wilde bijvoorbeeld meer inzicht krijgen in het temperatuurverloop in de atmosfeer en in de aarde, terwijl er ook in de metaalindustrie behoefte bestond aan grotere kennis van warmtegeleiding. Een fundamentele aanpak van deze problemen was



1

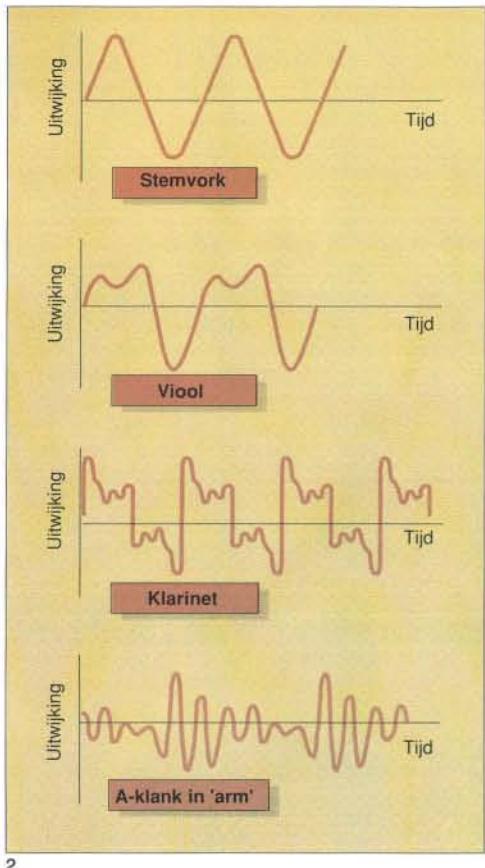
1. Jean Baptiste Joseph Fourier zoals André Dutertre hem tijdens zijn werk als bestuursambtenaar in Egypte zag optreden rond 1800. De gravure bevindt zich in het bezit van het Chateau de Versailles in Frankrijk.

echter tot dan toe niet ondernomen. In 1807 presenteerde Fourier zijn resultaten aan de Franse Académie des Sciences. Hierin formuleerde hij zijn theorie die tot een van de meest succesvolle en invloedrijke van de 19de en 20ste eeuw zou worden, zowel in de natuurwetenschappen als in de wiskunde zelf. Het belang van de theorie stijgt ver uit boven dat van het probleem waarvoor die oorspronkelijk was ontworpen, iets waarvan Fourier zich blijkens zijn uitleggingen ook wel bewust was.

Het duurde echter nog wel even voordat dit belang algemeen werd erkend. Opname van Fouriers bijdrage in de *Mémoires* van de Académie des Sciences werd door een commissie, waarin onder meer beroemdheden als Laplace, Lagrange en Legendre zaten, afgewezen. Het officiële argument was het ontbreken van wiskundige strengheid in Fouriers betoog – wat zeker waar was – maar de eigenlijke bezwaren

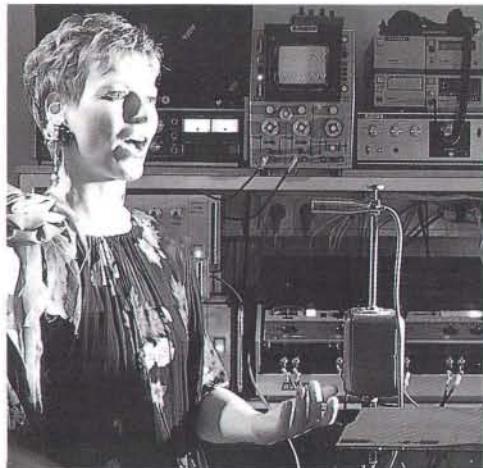
richtten zich tegen wat later zijn vruchtbaarste idee zou blijken: de aanname dat elke wiskundige functie – in de toenmalige betekenis van het woord – is te schrijven als de som van een aantal golfvormige (sinus- en cosinus-) functies met verschillende golflengten en amplitudes. Vrijwel iedere wiskundige meende in die tijd dat dit onmogelijk was.

Het pleit voor het inzicht van de commissie dat zij Fourier toch wilde aanmoedigen om zijn ideeën verder te ontwikkelen. Dat gebeurde in de vorm van een grote prijsvraag die de Académie uitschreef voor het probleem van de warmtegeleiding. Fourier herzag zijn oorspronkelijke artikel en won daarmee de prijs (1812). Maar de twijfel aan de algemene geldigheid van de methode en de kritiek op de gebrekige wiskundige strengheid bleven en de Académie publiceerde ook dit artikel niet. Pas tien jaar later, na een periode waarin de verbit-



2

2 en 3. Een stemvork brengt een sinusvormige geluidsgolf voort. Andere instrumenten kenmerken zich door grilligere geluidspatronen, die volgens de ideeën van Fourier kunnen worden opgevat als samengesteld uit de tonen van verschillende stemvorken. Ook menselijke stembanden produceren klanken die zich dankzij de Fouriermethode in wiskundige formules laten weergeven (3).



3

terde Fourier taai volhield tegen de skepsis van de toenmalige toonaangevende geleerden in, verkreeg zijn werk algemene erkenning met de verschijning in 1822 van zijn klassieke boek *Théorie analytique de la chaleur*.

Omdat zo veel natuurverschijnselen zijn terug te voeren op golfprocessen met een zekere periodiciteit vormt Fouriers methode een bij uitstek geschikte 'taal' om deze te beschrijven. Ook wiskundigen gebruiken op bijna elk gebied de methode in een of andere vorm. Zij heeft onder meer geleid tot een veel dieper inzicht in het begrip *functie*. Fouriers werk wortelt duidelijk in de 18de eeuw: sommige van zijn resultaten waren ook al verkregen door wiskundigen als Leonard Euler en Daniël Bernoulli. Maar alleen Fourier komt de eer toe een samenhangende theorie te hebben gesmeed, hoewel hij die zelf nog geen strenge wiskundige basis kon geven.

Fouriers methode

De negende symfonie van Beethoven zou je, inclusief het slotkoor, in principe door een groot aantal stemvorken kunnen laten uitvoeren. Wiskundig komt dat erop neer dat je een ingewikkelde functie kunt behandelen als de som van een aantal eenvoudige functies. Dat is in een notedop de stelling van Fourier, toegepast op de muziek. Later in de 19de eeuw toonde de Duitse natuurkundige Von Helmholtz experimenteel aan dat zoets inderdaad mogelijk is. Hij gebruikte daarbij een aantal elektrisch aangedreven stemvorken, die qua sterkte zorgvuldig op elkaar waren afgestemd. De tegenwoordige synthesizers in de elektronische muziek tonen 'klinkend' de juistheid van Fouriers stelling aan.

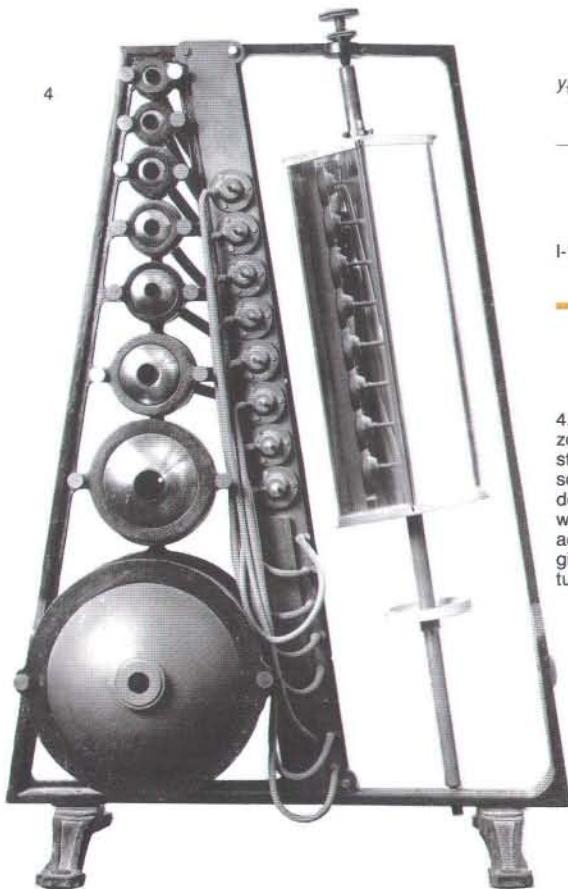
Het geluid, en meer in het bijzonder de muziek, is bij uitstek geschikt om het werk van

Fourier te verduidelijken, hoewel hij zijn theorie oorspronkelijk voor warmtegeleidingsproblemen had bedacht. Een stemvork produceert op het trommelflies van een luisteraar een periodieke trilling (fluctuatie in de luchtdichtheid) van de vorm $a \sin bt$, waarbij de maximale uitwerving (*amplitude*) a een maat is voor de geluidssterkte, b een maat voor de frequentie en t de tijd voorstelt. Ook muziekinstrumenten zoals viool of klarinet, of de menselijke stem brengen periodieke trillingen voort, maar die zitten ingewikkelder in elkaar dan de eenvoudige sinusvorm van de stemvork.

Fourier stelde echter dat elke periodieke trilling kan worden verkregen door een aantal sinusvormige trillingen bij elkaar op te tellen. Neem bijvoorbeeld een periodieke functie $y(t)$ die zich 100 maal per seconde herhaalt, en neem gemakshalve aan dat deze oneven is, dat wil zeggen $y(-t) = -y(t)$. Zo'n functie kan dan

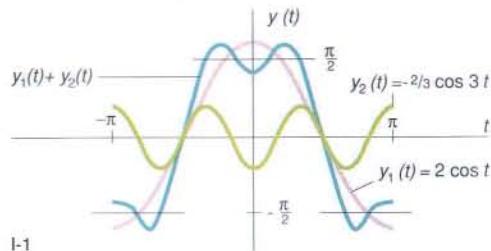
Enkele Fourierreeksen

Als eerste voorbeeld stellen we de functie $x(t) = t$ op het interval $(-\pi, \pi)$ voor als een Fourierreeks. Omdat die functie oneven is, bevat de reeks alleen sinussen. De uitkomst is: $x(t) = 2 \sin t - \sin 2t + \frac{2}{3} \sin 3t - \dots$ In de figuur zijn afgebeeld de eerste drie benaderingen van de functie, verkregen door de reeks na de eerste, tweede respectievelijk derde term af te breken. Al snel ontstaat een goede benadering, behalve dichtbij de eindpunten van het interval. De afgekapselde Fourierreeks blijft in die eindpunten, onafhankelijk van het aantal termen, steeds de waarde 0 houden, terwijl de functiewaarden er $-\pi$ en $+\pi$ zijn. Voor alle andere t -waarden in het interval $(-\pi, \pi)$ kan men de functie echter willekeurig scherp benaderen. Buiten het interval $(-\pi, \pi)$ herhaalt de Fourierreeks zich periodiek en krijgen we een zaagrandfunctie, die daar echter steeds meer afwijkt van de functie $x(t) = t$. Dat is de prijs voor de willekeurig scherpe benadering op het interval $(-\pi, \pi)$.



4

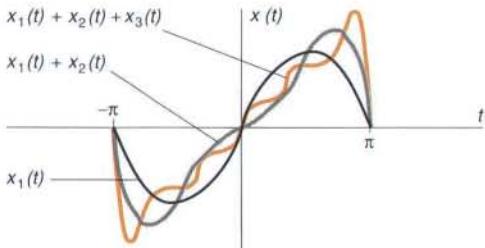
I-1



4. Von Helmholtz onderzocht de spectrale samenstelling van geluid op verschillende manieren; ondermeer met resonatoren, waarvan een serie van acht is afgebeeld. In beginsel komt resonantie natuurkundig overeen met

een massa, hier die van de lucht in de naar voren stekende tuit, aan een veer. De in de bol opgesloten hoeveelheid lucht bezit namelijk een zekere veerkracht. Wanneer een complex geluid met de serie resonatoren in aanraking komt, zal een bol waarvan de kenmerkende frequentie in het aangeboden geluid voorkomt, gaan resoneren. Dit wordt op een amusante wijze zichtbaar. De wisselende luchtdruk in de bol moduleert via een koppeling aan de achterkant van het toestel een gasstroom waarop eenvlammetje brandt. Het geblaker van het vlammetje toont zich op de ronddraaiende spiegel.

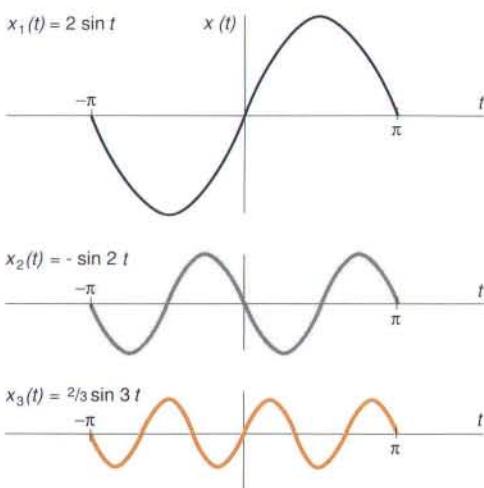
Het tweede voorbeeld is een functie $y(t)$, die bijvoorbeeld een blokspanning kan voorstellen: $y(t)$ heeft een constante waarde op het interval $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$, bijvoorbeeld $+\frac{\pi}{2}$, en op de rest van het interval $(-\pi, \pi)$ de tegengestelde waarde $-\frac{\pi}{2}$. De functie is even en heeft als Fourierreeks $y(t) = 2 \cos t - \frac{2}{3} \cos 3t + \frac{2}{5} \cos 5t - \dots$. Hier zijn de eerste twee benaderingen in de figuur getekend. Een willekeurige functie kan worden geschreven als de som van een even en een oneven functie en de bijbehorende Fourierreeks bestaat dus in het algemeen uit sinus- en cosinustermen. Men kan die reeks ook schrijven als een som van louter sinusgolven, die echter nu in fase zijn verschoven ten opzichte van elkaar. De Fourierreeks van de som van beide bovengenoemde functies $x(t) + y(t)$ ziet er dan uit als: $2\sqrt{2} \sin(t + \frac{\pi}{4}) - \sin 2t - \frac{2}{3}\sqrt{2} \sin(3t + \frac{3}{4}\pi) + \dots$. Elk van deze termen heeft hier een verschillende amplitude, frequentie en fase.



I-2

worden geschreven als $y(t) = a_1 \sin 100.2\pi t + a_2 \sin 200.2\pi t + a_3 \sin 300.2\pi t + \dots$. We zeggen dan dat $y(t)$ is voorgesteld als een *Fourierreeks*. Het profiel van één periode, als het ware de ‘handtekening’ van het instrument in kwestie, wordt bepaald door de waarden van de rij *Fouriercoëfficiënten* a_1, a_2, \dots . De uitdrukking $\sin f.2\pi t$ is een periodieke functie van de tijd t . Deze functie herhaalt zich elke $1/f$ seconden (2π komt overeen met 360°); f is dus de frequentie.

De eerste term, met frequentie 100, noemt men de fundamentele of eerste harmonische, of ook wel de grondtoon. De hogere harmonischen (boventonen) hebben frequenties die veelvouden zijn van de frequentie van de grondtoon. Hoe meer termen (*Fouriercompo-*



I-3

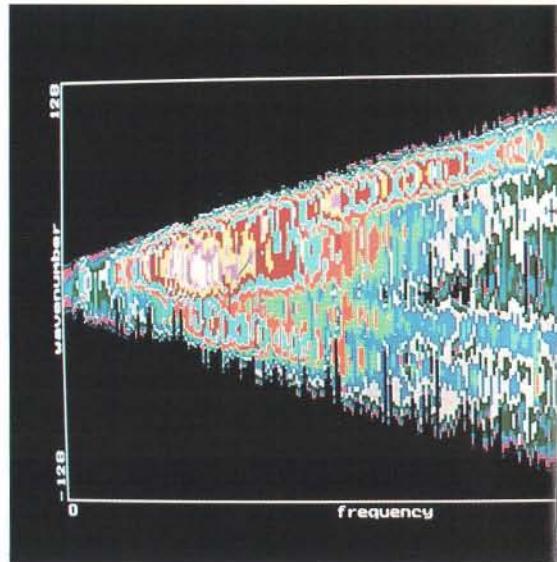
I-1 t/m I-3. De functie $x(t) = t$ kan men beter benaderen naarmate men meer Fouriercomponenten, $2 \sin t, -\sin 2t$ of $\frac{2}{3} \sin 3t$ (I-3), bij elkaar optelt (I-2). De functie $y(t)$ komt als som van $2 \cos t$ en $-\frac{2}{3} \cos 3t$ al redelijk in beeld (I-1).

nenten) worden meegenomen, hoe dichter hun som de functie $y(t)$ benadert. De coëfficiënten a_1, a_2, \dots van de Fourierreeks $y(t) = \sum_n a_n \sin nt$ (de factor 100.2π is hier weggelaten) zijn met een eenvoudige formule uit de functie $y(t)$ af te leiden: $a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} y(t) \sin nt dt$. Anders gezegd: men krijgt de coëfficiënten a_n door een *Fouriertransformatie* op $y(t)$ uit te voeren (zie Intermezzo I).

In diverse praktijkgevallen krijgt men al een heel goede benadering met enkele Fouriercomponenten. Dat is bijvoorbeeld het geval met de sonarsignalen die je opvangt van een varend schip. De Schroefbeweging door het water, de slingeringen van de romp en de via de romp doorgegeven trillingen van de scheepsmotoren veroorzaken elk op zich sinusvormige schom-



5



6

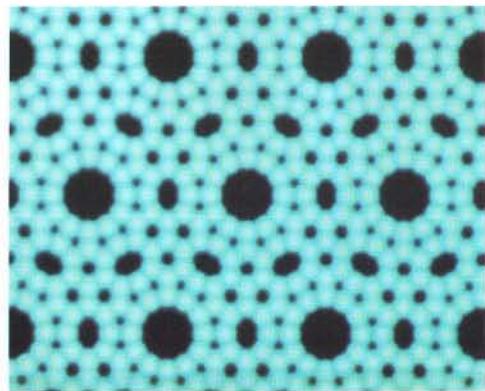
melingen in de waterdruk. De sonarontvanger registreert die waterdrukschommelingen samen met andere achtergrondsignalen en ruis. Na aftrek van de niet van het schip afkomstige signalen blijft er een signaal over dat de som is van een beperkt aantal, eenvoudige sinusvormige trillingen.

Dit voorbeeld maakt overigens duidelijk dat de praktijk vaak ingewikkelder is dan het geval van één grondtoon met een aantal boventonen. Er kan sprake zijn van meerdere grondtonen met verschillende frequenties – in bovenstaand voorbeeld afkomstig van schroef,

romp en motoren – of zelfs een continu ‘spectrum’ van frequenties. Het signaal, de functie $y(t)$, is dan in het algemeen niet meer periodiek, terwijl Fouriers formule voor $y(t)$ uit een som over alle frequenties bestaat en niet alleen uit veelvouden van een bepaalde fundamentele frequentie. In plaats van een Fourierreeks gebruiken we dan een *Fourierintegraal* over een veel groter – soms oneindig groot – gebied van de reële getallen.

Een andere, veel voorkomende variant is het geval dat het signaal $y(t)$ alleen op een aantal (N) tijdstippen wordt gemeten. Dat gebeurt

7, 8 en 9. Zowel een oppervlaktestructuur van een kristal bestaande uit atomen (blauw, 7), als een molekulumstructuur van Zeoliet 4A (9) leiden kristallografen af uit een diffractiepatroon dat ze verkrijgen door gekristalliseerde verbindingen te beschieten met röntgenstraling (8). De stippen op de foto geven aan waar en met welke intensiteit de afgebogen straling op de film belandde. De Fouriergeïntegreerde van het waargenomen patroon geeft de elektronendichtheid, die maximaal wordt op de plaats van atomen.



7



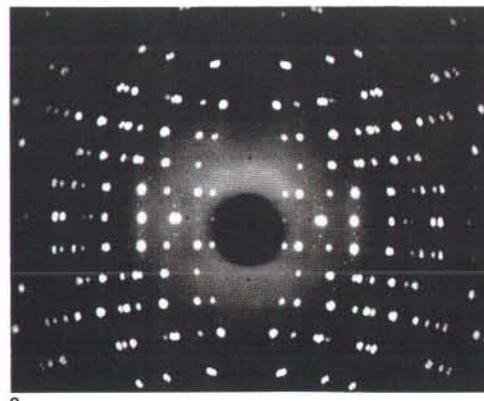
5 en 6. Marinemensen kunnen al vliegend sonarboeien uitwerpen, daarmee het geruis van onderzeeboten opvangen en dit terstond elektronisch analyseren (5). Een gesleepte sonarslang meet het geluidssignaal als functie van tijd en positie langs de slang. Via een Fouriertransformatie verkrijgt men het geluidsvermogen als functie van frequentie en 'wavenumber' (dat gerelateerd is aan de richting). Scheppen die een breed spectrum aan geluidsenergie uitzenden, ogen op dit scherm als 'naar rechts gestrekte vingers'.

bijvoorbeeld bij onderzoek van spraak, cardiogrammen, of aardbevingen. Die gemeten waarden vormen dan een N -dimensionale vector $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$. De eerste N Fouriercoëfficiënten van het signaal bevatten de significante informatie en leveren ook een N -dimensionale vector $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)$. Men kan deze vector vinden door de oplossing van een algebraïsche lineaire vergelijking $y = Wa$, waarbij de elementen van de $N \times N$ matrix W de waarden zijn van de sinusvormige basisfuncties op de meettijdinstippen. De oplossing hiervan is: $a = W^{-1}y$, waarbij de matrix

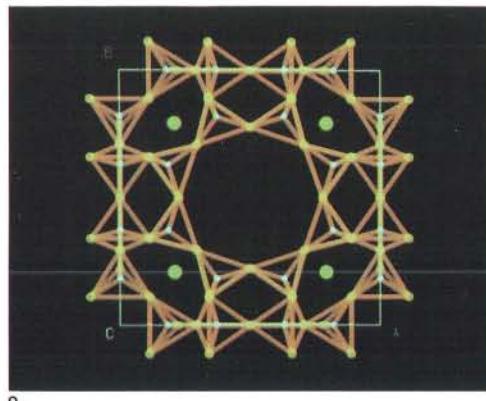
W^{-1} rechtstreeks uit W is af te leiden door gebruik te maken van de eigenschappen van geometrische functies.

Door de komst van snelle computers is numerieke Fourieranalyse van grote verzamelingen meetgegevens weliswaar een routinehandeling geworden, maar het gebruik van deze oplossingsmethode kost in de praktijk toch zeer veel tijd en bepaalde toepassingen zoals real-time analyse kunnen er nauwelijks mee worden uitgevoerd. Op een digitale computer is de benodigde rekentijd ruwweg evenredig met het aantal vermenigvuldigingen en dat is voor matrixvermenigvuldiging van de orde N^2 . Aangezien het bij dit soort gegevensanalyse vaak om duizenden meetpunten gaat, betekent dat miljoenen vermenigvuldigingen.

Grote vooruitgang werd op dit terrein echter geboekt in 1965, toen de Amerikanen J.W. Cooley en J.W. Tukey een methode publiceerden om de Fouriertransformatie van een rij getallen te berekenen. Deze zogenaamde Fast Fourier Transform of FFT bracht de rekentijd aanzienlijk terug. Voor de berekening van de Fouriercoëfficiënten van een functie die is gegeven in N punten, slaagden zij erin om het benodigde aantal vermenigvuldigingen te reduceren van de orde N^2 tot $2N \cdot 2\log N$. Aldus werd een aanzienlijke tijdswinst geboekt, waardoor veel meer toepassingen van de Fouriermethode binnen bereik kwamen. In de loop der jaren zijn nog diverse varianten op de FFT-methode uitgewerkt en thans behoort zij tot het standaardsenaal in vele onderzoeksgebieden, zoals bij de analyse van spraak of van seismische signalen.



8



9

Enkele toepassingsgebieden

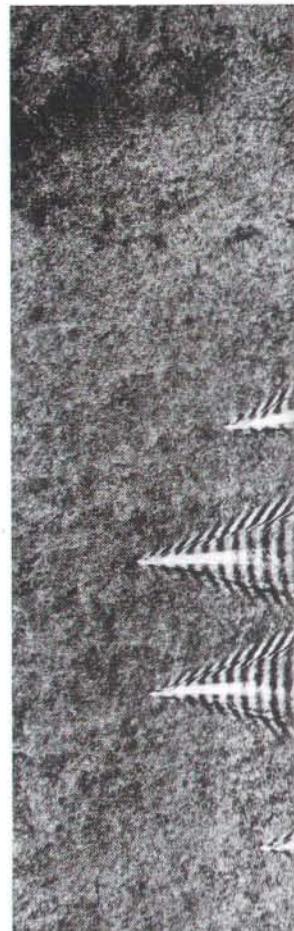
Zoals reeds gezegd speelde in vrijwel elk gebied in de natuurwetenschappen en de wiskunde de Fouriermethode een rol en vaak zelfs een essentiële rol. De 19de eeuw was een bloeitijd van de beschrijving van de natuur in termen van lineaire differentiaalvergelijkingen. Daartoe behoorde, zoals we zagen, de vergelijking voor warmtegeleiding, de bestudering waarvan Fourier tot de ontwikkeling van zijn methode leidde. Later werden vooral Maxwells vergelijkingen, die het licht beschrijven als een elektromagnetisch verschijnsel, intensief bestudeerd. Door op zulke vergelijkingen een Fouriertransformatie uit te voeren ontstaan er vergelijkingen voor elke Fouriercomponent afzonderlijk. Die vergelijkingen zijn meestal gemakkelijker op te lossen dan de oorspronkelijke vergelijking, terwijl we hierdoor een veel meer inzicht krijgen in de structuur van de oplossingen voor deze vergelijking.

Fourieranalyse komt op een zeer natuurlijke manier om de hoek kijken bij de bestudering van licht, want de ontleding van een lichtstraal via een prisma in zijn samenstellende kleuren – het spectrum – is in feite niets anders dan de Fourieranalyse in beeld gebracht. Geen wonder dus dat, zodra Maxwells vergelijkingen gemeengoed waren geworden en kwantitatieve bestudering van allerlei lichtverschijnselfen mogelijk werd, de Fouriermethode hier een vruchtbare bodem vond.

Een goed voorbeeld is de kristallografie. Bij kristallen zitten de atomen in een regelmatige structuur gerangschikt. Zo'n structuur laat zich bij uitstek met behulp van Fouriertechnieken bepalen. Men laat op het kristal röntgenstraling vallen, die door de atomen van het kristalrooster wordt verstrooid. De Fouriergeïntegreerde van het ontstane diffractiepatroon staat in direct verband met de ruimtelijke structuur van het kristal. Ook bij de bepaling van de structuur van macromolekülen zoals DNA is deze methode gebruikt. In de jaren vijftig zijn er zelfs aparte analoge computers, de Fouriermachines, ontwikkeld voor het bepalen van de Fouriercoëfficiënten van zulke diffractiepatronen.

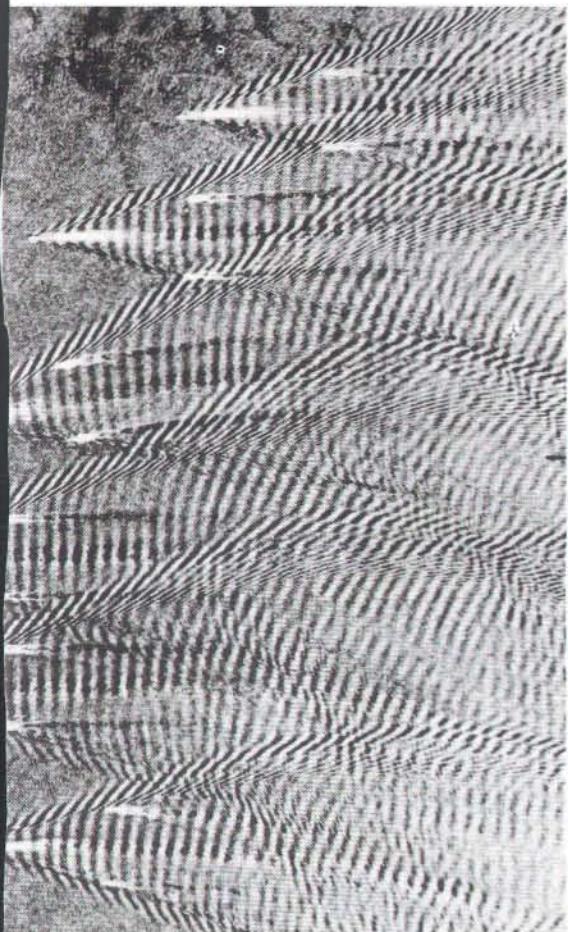
In de praktijk komt het veel voor dat het te onderzoeken object een signaal produceert dat varieert met de tijd. In het algemeen ‘bemonstert’ men dan het signaal, dat wil zeggen

10. Het interferentiepatroon dat dit flottelje mijnenjagers achter zich laat, toont hoe een complex verschijnsel valt te herleiden tot een samenstelling van simpele golven.



10

men meet het signaal met regelmatige tussenpozen. Het resultaat is een rij metingen, een *tijdreeks*, die men vervolgens te lijf gaat met de Fouriermethode. Meestal ziet men namelijk aan het signaal zelf niet zo veel, omdat het is samengesteld uit een (groot) aantal afzonderlijke golven met verschillende amplitudes, frequenties en fasen. Met de Fouriermethode kan men ‘het kaf van het koren scheiden’. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor bij het onderzoek van aardlagen met seismische signalen ten behoeve van de olie-exploratie. Hierbij bevatten de door de verschillende aardlagen teruggekaatste golven informatie over hun ligging en samenstelling. Andere voorbeelden zijn de analyse van waterhoogten aan de zee- en van cardiogrammen of het spraak-



derzoek, dat onder meer tot doel heeft de bouwstenen van de menselijke spraak zo te beschrijven, dat daarmee zaken als spraakherkenning mogelijk worden.

De Fouriermethode speelt een cruciale rol in de computertomografie met behulp van kernspinresonantie (NMR). De straling, veroorzaakt door het omklappen van de kernspin van atomen in de geselecteerde doorsnede (bijvoorbeeld van het menselijk hart), induceert een signaal. Bij een juiste instelling van de magneten houdt dat signaal direct verband met de Fouriergetransformeerde van die doorsnede, dat wil zeggen van de functie die de 'grijswaarden' in elk punt van de doorsnede voorstelt. Ook bij beeldverwerking, bijvoorbeeld van satellietbeelden, is de Fouriermetho-

de een welkom hulpmiddel, onder andere voor de efficiënte opslag van de gegevens.

Tenslotte nog een zeer elementaire toepassing: het vermenigvuldigen van twee getallen. Dat kan, tenminste voor grote getallen, aanzienlijk sneller dan zoals het op school wordt geleerd. De gebruikelijke methode is om de cijfers van de twee getallen direct met elkaar te vermenigvuldigen en een boekhouding van de tientallen, honderdtallen, etcetera bij te houden. Het idee is nu om, precies zoals we eerder hebben gezien bij een serie metingen aan een signaal, de cijfers van elk getal (in een computer: de bits) op te vatten als een functie (vector) en deze te schrijven als een Fourierreeks. Door nu de vermenigvuldiging, met bijbehorende boekhouding, op de Fouriercoëfficiënten uit te voeren en de afzonderlijke resultaten weer bij elkaar op te tellen, kan veel tijdwinst worden geboekt. Deze methode vindt dan ook toepassing bij het ontwerpen van computers.

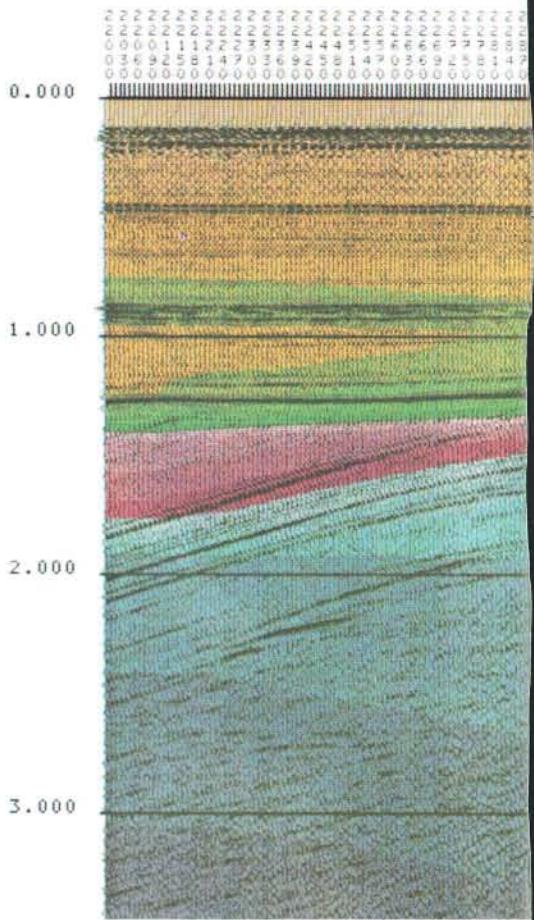
Fourier en de wiskunde

Het grote praktische nut van de Fouriermethode schuilt vooral hierin dat allerlei ingewikkeld uitzienende verschijnselen heel goed beschreven kunnen worden in termen van een beperkt aantal eenvoudige bouwstenen, namelijk de Fouriercomponenten, waardoor een kwantitatieve studie mogelijk wordt. Hierboven hebben we daarvan een aantal voorbeelden gezien. Minstens even belangrijk is echter de invloed van Fouriers werk op de wiskunde zelf. Deze invloed is des te opmerkelijker omdat, zoals hierboven al is gesteld, Fourier zelf het niet zo nauw nam met de wiskundige strengheid van zijn redeneringen. Hij verwisselde bijvoorbeeld onbekommerd oneindige sommaties met integraties, iets waarop 'strenge straffen' kunnen staan.

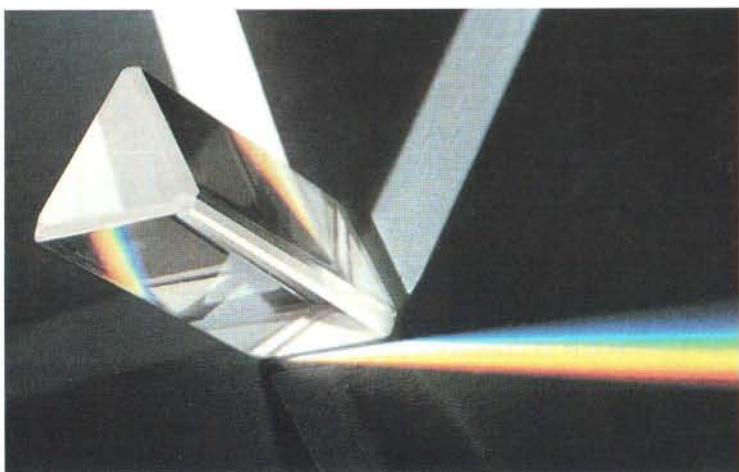
Om die invloed op de wiskunde te kunnen begrijpen gaan we terug naar de bezwaren van Fouriers collega's tegen zijn aanname dat elke initiële temperatuurverdeling in een lichaam te schrijven is als de som van een aantal sinusvormige functies. Dit debat kende al een voorganger in de 18de eeuw in verband met het onderzoek naar de trillingen van een snaar. In 1747 stelde de Fransman Jean Le Rond d'Alembert de golfvergelijking voor een trillende snaar op en gaf ook oplossingen ervan in de vorm van twee identieke, maar in tegengestelde richtin-

gen lopende golven. Het golfpatroon kon nog willekeurig worden gekozen. Omdat ook de beginpositie van de snaar een vrij te kiezen functie is, meende d'Alembert hiermee de algemene oplossing van het probleem te hebben gegeven. Met 'functie' bedoelde hij eigenlijk wat wij nu een formule noemen, zoals $\sin x$, of $2\sqrt{x} + 3$. De grote wiskundige Leonard Euler meende dat ook als die beginpositie bestond uit een willekeurige grafiek, die niet in één formule is uit te drukken of waarvoor zelfs helemaal geen formules te geven zijn, de oplossing van d'Alembert nog steeds geldig was, maar deze geloofde dat niet.

Kort daarna ontdekte de Zwitser Daniël Bernoulli een ander soort oplossingen van de golfvergelijking, namelijk in termen van staande golven (golven met een aantal vaste 'knopen'). Bernoulli loste nu het algemene probleem van de trillende snaar op door een oneindig aantal van zulke staande golven bij elkaar op te tellen. Hij moest daarbij een veronderstelling maken die als twee druppels water leek op die van Fourier een halve eeuw later: de beginpositie van de snaar, die uiteraard willekeurig kan worden gekozen, moest dan ook te schrijven zijn als de som van een (oneindig) aantal sinusfuncties. De meeste van zijn tijdgenoten, met – opmerkelijk genoeg – Euler voorop, geloofden echter niet dat zoets kon. Het was Fouriers verdienste dat hij inzag dat de coëfficiënten a_n van een Fourierreeks $y(t) = \sum_n a_n \sin nt$ goed gedefinieerd blijven zo-



11



13

11 en 12. Een trilwagen (12) wekt seismische signalen op, die een beeld geven van de dwarsdoorsnede van de aarde met geologisch interessante lagen: horizontaal de positie van de signalen langs de aarde, verticaal de looptijd van de signalen en in kleur hun lokale snelheid, die toeneemt met de diepte en de dichtheid van het gesteente.

13. De Fourieranalyse in beeld gebracht: een prisma breekt invallend wit licht tot zijn spectrum van kleuren, elk met een karakteristieke golflengte.



12

lang de grafiek van $y(t)$) maar een bepaald gebied begrenst ('integreerbaar' is); immers, de coëfficiënten worden gegeven door de integraalformule $a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} y(t) \sin nt dt$. Fouriers conclusie was dus: niet alleen heeft iedere functie (in de toenmalige betekenis) een grafiek, maar ook hoort bij iedere grafiek een functie, namelijk zijn Fourierreeks.

Wiskundigen rusten nooit op hun lauweren. Het onderscheid tussen grafiek en functie was nu komen te vervallen, maar Fouriers werk bevatte nog diverse onbewezen beweringen en een eerste vereiste om hier verder te komen was een goede definitie van het begrip *functie*. Die werd al vrij snel verschafft door Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859). Zijn definitie is heden ten dage nog steeds de meest

gangbare: een functie $y(x)$ is een willekeurig voorschrift dat een bepaalde waarde y toekent aan elke x van een verzameling punten. Waar Fourier het had over een *willekeurige functie*, dacht hij altijd nog aan iets dat je kon tekenen. Dirichlets definitie gaat hier echter ver boven uit en brengt het functiebegrip in het abstracte. Hijzelf gaf een beroemd geworden voorbeeld: een functie $\Phi(x)$ die gelijk is aan 1 voor rationele waarden van x en gelijk is aan 0 voor alle andere waarden van x . Voor dit soort functies

kon men toen onmogelijk de Fouriercoëfficiënten bepalen, want niemand wist hoe je zo'n functie zou moeten integreren.

Ook met dit nieuwe functiebegrip bleef een duidelijk antwoord op de vraag, welke functies zijn voor te stellen als een Fourierreeks nog open. Zo kunnen volgens Dirichlets definitie twee verschillende functies heel goed dezelfde Fourierreeks hebben, bijvoorbeeld als zij in een eindig aantal punten van elkaar verschillen. Want hun integraal is toch dezelfde en die bepaalt de waarde van de Fouriercoëfficiënten. Het werd al snel duidelijk dat, om helderheid te brengen in zulke situaties, ook het begrip *integratie* herziening behoefde: de intuïtieve betekenis van oppervlakte onder de grafiek is hier ontoereikend. Via het werk van

Fouriers invloed

Fouriers invloed op de ontwikkeling van de wiskunde zelf heeft ook praktische gevolgen gehad. Om dat in te zien volgen we de verdere uitbreidingen die het functiebegrip in deze eeuw heeft ondergaan. Ten eerste maakt de voorstelling van een functie door middel van een Fourierreeks een meetkundige interpretatie mogelijk. Een functie is dan niets anders dan een punt (vector) in een *metrische* ruimte, dat is een ruimte waarin een *lengte* s is gedefinieerd. Onze vertrouwde driedimensionale ruimte is daarvan een voorbeeld. Hier gaat het echter om een oneindig-dimensionale ruimte, waarbij de dimensies overeenkomen met de afzonderlijke Fouriercomponenten van de functie.

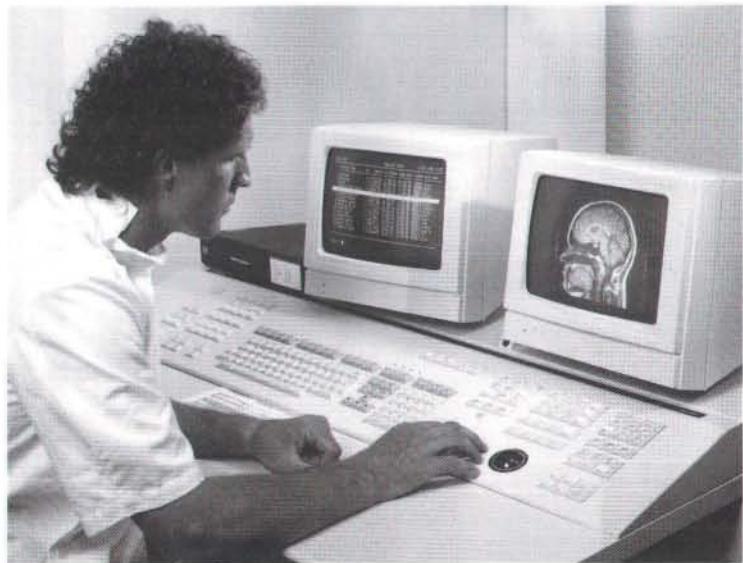
Veronderstel dat we de functie $y(t)$ kunnen schrijven als een Fourierreeks: $y(t) = \sum_n a_n \sin nt$. Ga er

bovendien van uit dat het kwadraat van $y(t)$ integreerbaar is (in de zin van Lebesgue) op het interval $[0, \pi]$. Dan geldt: $s^2 = \frac{1}{4} \int_0^\pi y(t)^2 dt = a_1^2 + a_2^2 + \dots$. Dat is het analogon van de stelling van Pythagoras voor een vector (a_1, a_2, \dots) met lengte s . We kunnen dan ook spreken van de ‘afstand’ tussen twee functies $x(t)$ en $y(t)$, dat is dan de lengte van $x(t) - y(t)$. Deze functieruimte duiden wiskundigen aan met L_2 en is het klassieke voorbeeld van een zogenaamde Hilbertruimte (genoemd naar een van de grootste wiskundigen van deze eeuw, David Hilbert). Deze ruimtes vormen de grondslag van een correcte formulering van de quantummechanica – een van de pijlers van de hedendaagse natuurkunde. De toestand van een quantummechanisch systeem (bijvoorbeeld een waterstofatoom) kunnen natuur-

Bernhard Riemann (1826-1866), die onder meer het wiskundige bedje voor Einsteins algemene relativiteitstheorie spreidde, leidde dit Henri Lebesgue (1875-1941) tot een nieuwe integraaldefinitie. Hierbij maakte hij gebruik van een nieuw begrip, de *maat* van een verzameling punten.

Dit kan men zich als volgt voorstellen. Neem de verzameling V van alle reële getallen tussen 0 en 1 en neem een deelverzameling daarvan. Kies nu willekeurig een getal tussen 0 en 1. De maat van de deelverzameling is dan de kans dat dit getal tot die deelverzameling behoort. Die kans is gelijk verdeeld over alle ge-

14 en 15. Fouriertransformaties worden toegepast bij de reconstructie van beelden, verkregen met magnetische resonantie van waterstofatomen. Doordat de dichtheid van waterstofatomen in het menselijk lichaam varieert, kan men op basis van gemeten radiofrequente signalen inwendige structuren zichtbaar maken.



14

INTERMEZZO II

kundigen namelijk beschrijven als een punt in zo'n Hilbertruimte.

Fouriers idee is verder uitgebreid door Norbert Wiener (de vader van de cybernetica) tot veel algemene functies dan de oorspronkelijke sinusgolven en door Laurent Schwartz en anderen in de theorie van distributies, die de logische grondslag vormt voor het gebruik van 'functies' zoals de deltafunctie van Dirac ($\delta(x) = 0$ voor $x \neq 0$, en $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1$). Dit soort functies komen op veel plaatsen in de natuurwetenschappen voor, bijvoorbeeld bij de bestudering van het gedrag van elektrische schakelingen. Hoewel de Fourierreeks of -integraal van zo'n 'functie' divergeert, kun je met de Fouriercoëfficiënten toch rekenen alsof er niets aan de hand is.

tallen van V (dat zijn er oneindig veel). Elke eindige deelverzameling van N getallen heeft dan bijvoorbeeld maat nul, want de kans om daartoe te behoren is $N/\infty = 0$. In verband met Fourierreeksen gaat het vooral om verzamelingen met maat nul. Nu heeft een constructie zoals Dirichlets 0-1 functie wèl een Fourier-

reeks: alle coëfficiënten zijn dan nul, want de verzameling van alle rationele getallen heeft maat nul, en de functie is dus, in de terminologie van Lebesgue, 'bijna overal' gelijk aan nul.

Allemaal mooi speelgoed voor wiskundigen, denkt de lezer wellicht, maar dit heeft natuurlijk totaal geen praktisch nut. Die indruk is echter onjuist. Om maar één voorbeeld te noemen: toen in de jaren twintig van deze eeuw de quantummechanica, die de wereld van het atoom beschrijft, werd opgesteld, lag de wiskundige taal daarvoor reeds klaar. Die taal is een direct gevolg van Fouriers ideeën (zie Intermezzo II). Hoewel Fourier het belang van zijn methode wel besefte, getuige zijn twintig jaar lange volharding tegenover felle kritiek, kon ook hij zich geen voorstelling vormen van de vruchtbaarheid van zijn vinding. Wie nu in een grote universiteitsbibliotheek onder 'Fourier' in de catalogus zoekt, moet niet verbaasd opkijken er honderden trefwoorden aan te treffen. Zoals wij zagen waren het niet alleen de directe toepassingen, maar vooral ook de pogingen van wiskundigen om Fouriers methode te rechtvaardigen, die Fourier's invloed tot op de huidige dag voelbaar maken. Het is een uitstekend voorbeeld van het verschijnsel dat een goed wiskundig idee als regel een grote actieradius heeft en doorwerkt in soms totaal onverwachte richtingen.



15

Bij het tot stand komen van dit artikel is dankbaar gebruik gemaakt van opmerkingen en aanwijzingen van prof dr H. A. Lauwerier en dr N.M. Temme (CWI).

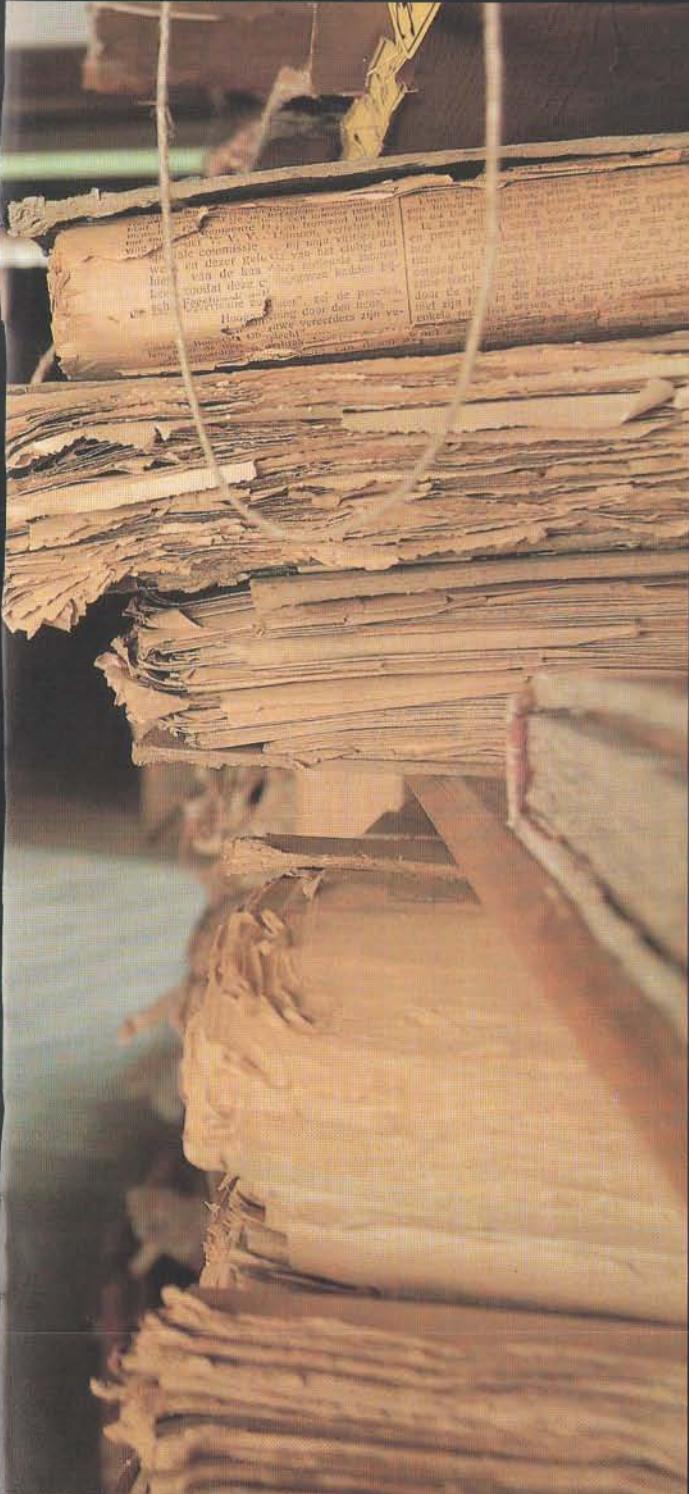
Bronvermelding illustraties

- Regionale VVV Zuid-Kennemerland, Haarlem: 178-179.
- André Dutertre/Service photographique de la réunion des musées nationaux, Parijs, F: 1.
- Vos/EGG, Groningen: 3.
- Ole Eshuis, Amsterdam (Met dank aan Dr. L.W. Roeland, Natuurkundig Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam): 4.
- Defensie Voorlichting, Den Haag: 5.
- Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO, Den Haag: 6.
- René Driessens, Laboratorium voor Kristallografie van de Universiteit van Amsterdam: 7, 8, 9.
- Imperial War Museum, Londen, GB: 10.
- Quesada/Burke, New York, NY, VS: 11.
- Shell Research BV, Den Haag: 12, 13.
- Philips Medical Systems, Best: 14, 15.

Van literatuur zuur papier ontzuurd tot pulp

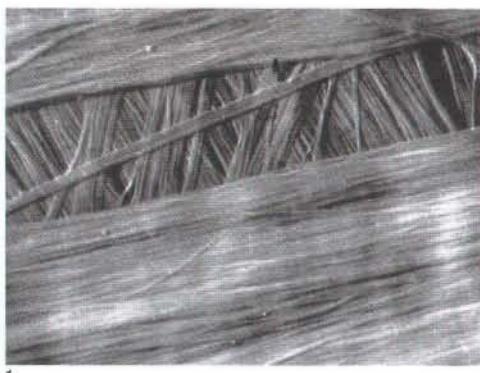
Bruno Ernst
Utrecht





Toen in 389 na Chr. de beroemde bibliotheek van Alexandrië in vlammen opging, was dit niet alleen een ramp voor de Hellenistische wereld, maar werd de culturele vooruitgang van de hele wereld op allerlei gebied vertraagd. Nog steeds is dit verloren gaan van zoveel vastgelegde wetenschap en kunst een onherstelbaar verlies. Op het ogenblik voltrekt zich eenzelfde ramp op veel grotere schaal. Een aanzienlijk deel van ons op papier vastgelegd cultuurbezit gaat voor altijd verloren. Het grote verschil met de Alexandrijnse brand is dat de ramp zich nu sluipend en traag voltrekt, maar wél onstuitbaar. Hier slechts één voorbeeld: 's werelds grootste bibliotheek, de Library of Congress in Washington, bezit ongeveer veertien miljoen boeken. Van een kwart daarvan is het papier zó bros geworden, dat men ze nauwelijks nog kan raadplegen zonder dat het papier scheurt of zelfs verpulvert.

Een groot deel van alle historische boeken, kranten, prenten en documenten dreigt door verzuring voor goed verloren te gaan. In veel gevallen kan ontzuring en restauratie nog soelaas bieden, maar hoe dat het beste kan is nog onduidelijk. Zeker is dat het veel geld gaat kosten. Deze kranten uit de collectie van de Koninklijke Bibliotheek in Den Haag zijn hard aan een opknapeurt toe.



1

Het beste papier bestaat, scheikundig gezien, grotendeels uit cellulose, een universele bouwstof in het plantenrijk. Vrijwel alle vezelige structuren die stevigheid aan planten moeten geven, bestaan voor een groot deel uit cellulose. Het is een natuurlijk polymer opgebouwd uit glucosemolekülen; we komen hierop terug.

Als we papier scheuren zien we aan de scheurrand vezels. Dit zijn nog gedeeltelijk intacte celwanden van de planten die de grondstof vormen van het papier. Bij een vergroting van honderd maal zien we soms veel dunnerne vezeltjes uit de breukvlakken van de celwanden steken. Bij sterkere vergrotingen onder een elektronenmicroscoop blijkt dat deze vezeltjes zijn opgebouwd uit bundels van draden: de microfibrillen. Een opname van de wand van een plantencel geeft een idee van de vele vezellagen die over elkaar heen liggen.

Elk van de microfibrillen is opgebouwd uit een aantal parallelle celluloseketens. De bouwstenen van een celluloseketen zijn glucosemolekülen. Sinds kort hebben we wat meer inzicht gekregen in de wijze waarop de plantencel de microfibrillen opbouwt. Het cytoplasma van de cel is omgeven door een celmembraan. Deze bestaat uit een dubbele laag van fosfolipidemolekülen, waarin eiwitten zijn ingebet. De eiwitten zijn te zien als partikels. In de celmembraan van een cel met actieve celulosynthese, komen zulke partikels voor in groepjes van zes, die samen een rozet vormen. Aangezien deze rozetten aan het eind van een microfibril liggen, spelen ze waarschijnlijk een rol bij de vorming daarvan. Volgens de nieuwste hypothese zouden ze glucose uit de cel door de membraan transporteren en tegelij-

1. Enkele lagen microfibrillen in de wand van een plantencel kruisen elkaar onder een hoek van circa

120°. De celwand waar u hier tegenaan kijkt is ongeveer 30000 maal vergroot.

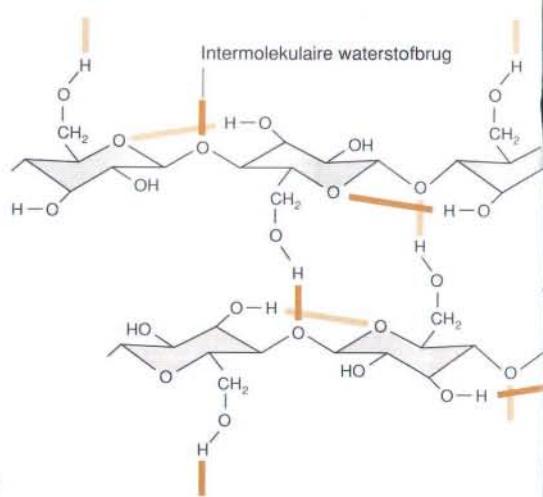
2 en 3. Met de zogenaamde vriesbrektechniek zijn in de plasmamembraan van een wortelhaar van schaafstro, een paardestaart, de partikelrozetten onder een elektronenmicroscoop zichtbaar ge-

maakt (de rozetten zijn omcirkeld, vergroting ongeveer 200000 maal). De rozetpartikels (3) zijn vermoedelijk de enzymen die glucose polymeriseren tot cellulose en zo de microfibrillen vormen.

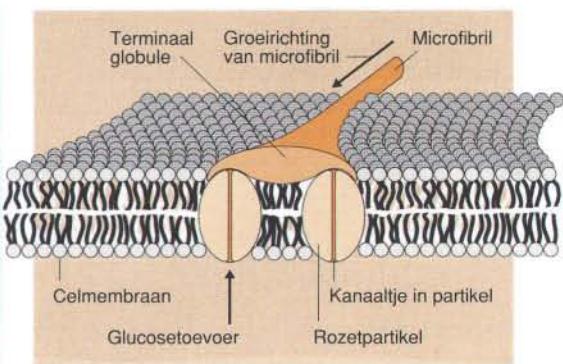
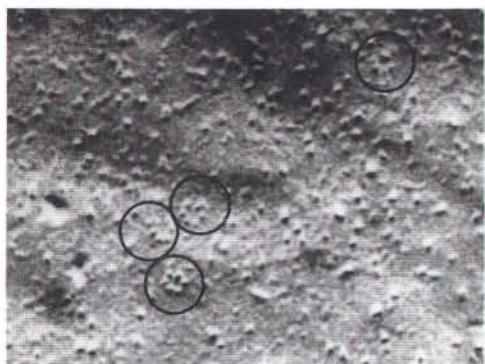
kertijd polymeriseren tot cellulose. De rozetpartikels zijn daarbij dus de enzymen die de glucosemolekülen om en om met elkaar verbinden (de zogenaamde β -binding) onder afscheiding van water. De celluloseketens die zo ontstaan duwen de rozetten, die zich vrij door de celmembraan kunnen bewegen, van zich af. Meerdere rozetten vormen zo een cocon van cellulosemicrofibrillen om de cel heen.

Kris-krasketens

Het aantal aaneengeschakelde glucosemolekülen in een celluloseketen varieert; we drukken dat uit in een getal: de polymerisatiegraad (DP = degree of polymerisation). Dat getal geeft aan hoeveel glucosemolekülen aaneengeschakeld zijn.



4



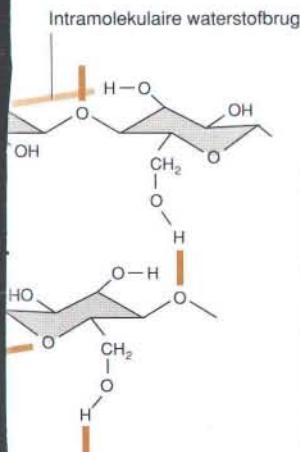
Als we het getal bepalen bij een pasgeoogste katoenvezel blijkt het 5000 te zijn. Tijdens de bewerking van de vezel loopt de DP terug tot ongeveer 3000 en blijft dan vrijwel stabiel: bij moderne linnen weefsels en textiel uit oude Egyptische graven loopt hij niet ver uiteen.

In een celluloseketen komen nog extra bindingen voor in de vorm van waterstofbruggen op plaatsen waar zuurstofatomen en waterstofatomen dicht bijeen liggen. Waterstofbruggen houden ook naast elkaar liggende cellulosemolekülen van verschillende ketens bijeen, waardoor zo'n regelmatige en vaste ligging ontstaat, dat de bundel een kristallijn karakter krijgt. Ook tijdens de papierfabricage spelen waterstofbruggen een belangrijke rol bij het aaneenhechten van de kris-kras over elkaar liggende vezels. Daarom is in het hele fa-

bricageproces van papier de maling van de pulp zo belangrijk: de vezels worden door de ijzeren messen gekneusd en fijngewreven waardoor een groot aantal fibrillen gedeeltelijk los komen te liggen en ze dicht genoeg bij fibrillen van andere vezels komen om waterstofbruggen mogelijk te maken. Zo ontstaat een stevig netwerk.

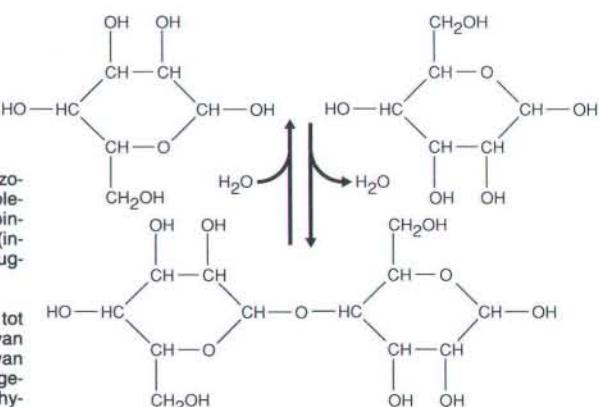
Papier uit lompen

Door verschillende oorzaken kunnen de cellulose-molekülen uiteenvallen in kleinere stukken. Een gevolg daarvan is dat elke papiervezel een groot aantal zwakke plekken krijgt waardoor ze gemakkelijk breekt. Het papier wordt dan broos, brokkelt af aan de randen en breekt op de vouwen. Scheikundig be-



4. In een microfibril komen zowel tussen de cellulosemolekülen (intermoleculair) als binnen de cellulosemolekülen (intramoleculair) waterstofbruggen voor.

5. Glucose polymeriseert tot cellulose onder afsplitsing van water. In aanwezigheid van zuur kan de reactie omgekeerd verlopen. Bij deze hydrolyse wordt water opgenomen en wordt de celluloseketen verbroken.



keken onstaan de breuken vooral door het proces dat we hydrolyse noemen. Het is het tegenovergestelde van polymerisatie waarbij water afsplitst. Bij hydrolyse wordt water opgenomen op de plaats van de zuurstofatomen, zowel in de glucoseringen als op de verbindingssplaatsen tussen de glucoseringen. Deze wateropname gebeurt onder invloed van een zuur en niet in een licht alkalisch milieu.

Vóór 1850 werd papier vrijwel uitsluitend uit afgedragen katoen en linnen gemaakt. De lompen ondergingen langdurig mechanische bewerkingen om de vezels vrij te maken. Het

6. Katoen is nog altijd een van de beste grondstoffen voor papier. Het is duur, maar wordt voor waarde-papier nog veel toegepast.

7. Aan een moderne pa-piermachine is het proces van papiermaken te volgen: via de oploopkast (geheel rechts) komt de papierbrij op een zeef te-recht. Daar ontwaterd de brij tot papier, dat vervol-gens omhoog wordt ge-voerd naar de perssectie, waarna walsen het papier drogen.



6



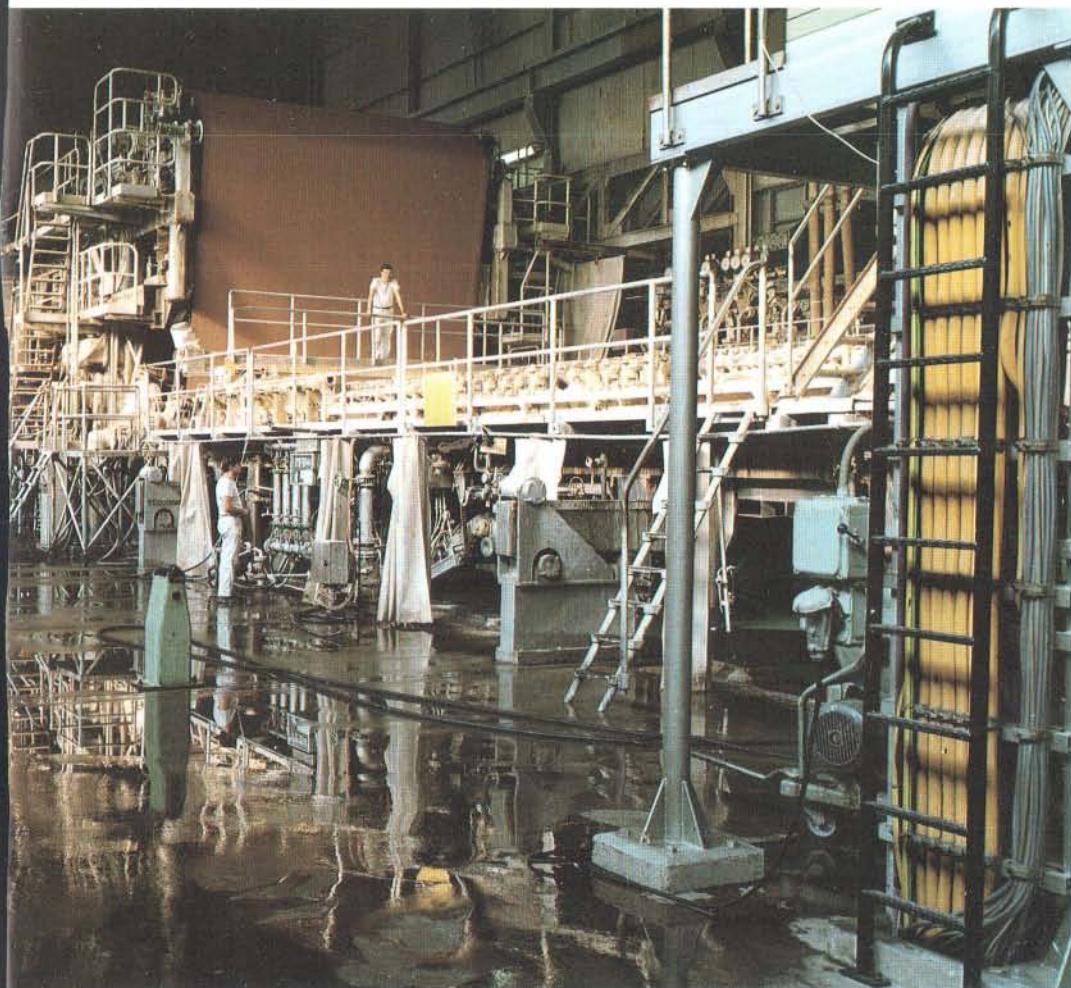
7

bedijfswater werd warm en verzuurde langzaam. Het water verzuurde door het oplossen van CO₂ uit de lucht, het oplossen van ijzer van de papiermachines en het oxyderen van OH-groepen van het cellulosemolekuul tot zure carboxylgroepen (-COOH). Hierdoor liep de DP van cellulosemolekülen tijdens de fabri-cage reeds terug van 3000 tot 500. Omdat bij de fabricage zeer veel water werd gebruikt, dat vaak kalkhoudend was, bleef het eindprodukt toch zuurvrij en stabiel.

Dat werd anders toen men rond 1800 het pa-pier op een andere manier ging verlijmen. Daarvóór gebeurde dat door het papier aan beide zijden met beenderlijm te bestrijken. Het

papier werd daardoor beter beschrijf- en bedrukaar. Na 1800 kwam een methode in ge-bruk om het papier inwendig te verlijmen. Daartoe werd aan de vezelpap een mengsel van hars en aluin (aluminiumsulfaat) toegevoegd. De hars verbindt zich met het aluminiumsulfaat tot een uitstekend bind- en vulmiddel. Er blijft dan echter een sulfaatrest over die met water zwavelzuur vormt. Hoewel de vorming van het zuur in het papier en meer nog de aan-tasting van de cellulosemolekülen door dit zuur een langzaam proces is, leidt dit op den duur een herroepelijk tot de afbraak van het papier.

Pas de laatste jaren zijn de meeste deskundi-gen het erover eens, dat het papiermakersaluin



een van de belangrijkste oorzaken is van te hoge zuurgraad van het papier en daarmee van de instabiliteit ervan. Toch is daarop al lang geleden de aandacht gevestigd. Zo lezen we in: *Het papier, de vervaardiging, het gebruik en het onderzoek.* van J. Bekk uit 1942: "Aangezien de zuivere vezel neutraal is, vinden de zure of alkalische bestanddelen van het papier hun oorsprong in de stoffen die tijdens de vervaardiging aan het papier zijn toegevoegd. In verband hiermede moet in de eerste plaats aluin genoemd worden, waarvan voor elk met hars gelijmd papier een overmaat moet worden gebruikt, om de hars uit de harslijm volledig neer te slaan. Het waterige extract van zulk papier

heeft daarom steeds de zure reactie van een sterk verdunde oplossing van aluminiumsulfaat.

Over de veroudering van papier zegt Bekk het volgende: "De uit volkomen zuivere cellose bestaande celstof is in hoge mate bestand tegen veroudering. De zeer goede staat van honderden jaren oude akten en drukwerken is hiervoor een bewijs."

Mummiewindsels

De vraag naar papier, en daarmee de vraag naar lompen, groeide in de vorige eeuw onrustbarend. In de meeste landen werd van

overheidswege de uitvoer van lompen streng aan banden gelegd. Een tijd lang gebruikten Amerikaanse papierfabrieken zelfs in Egypte aangekochte linnen mummiewindsels als grondstof. Het was dan ook een uitkomst dat men rond 1850 verschillende technieken leerde beheersen om papier uit hout te maken.

Voor de kwaliteit van het papier was dit een nieuwe ramp. Scheikundig gezien is er geen enkel verschil tussen de cellulose uit lompen (katoen en linnen) en de cellulose waaruit hout grotendeels is opgebouwd. Maar hout bevat behalve cellulose ook nog circa veertig procent lignine. Omdat deze stof onder invloed van licht donkerbruin kleurt moet ze worden verwijderd. Dat gebeurde aanvankelijk met behulp van zwaveligzuur (H_2SO_3), volgens het sulfietproces, en wat later ook met behulp van natriumsulfaat (Na_2SO_4), vervolgens het sulfaatproces. Beide processen zijn nu, zeer perfectioneerd, nog alom in gebruik voor het bereiden van cellulose voor de papierfabricage. Hoewel deze procédé's sinds 1850 sterk zijn verbeterd, blijven in het eindproduct nog altijd kleine hoeveelheden lignine en zuur achter.

Over het algemeen kan men zeggen dat papier uit de periode 1850-1870 er het slechtst aan toe is, omdat men in die periode de processen om uit houtslijp cellulose te maken nog slecht beheerde. Maar ook op het ogenblik is het meeste papier niet zuur- en ligninevrij.

Het zuur dat het papier aantast en daarmee geschreven of gedrukte informatie in gevaar brengt, is dus als een tijdbom in het papier zelf aanwezig. Er is echter ook een uitwendige oorzaak, die het papier extra verzuurt: de zwavelyxyden en stikstoxyden die in toenemende mate onze atmosfeer verontreinigen. Met water (ook wat wij 'droog' papier noemen bevat tussen de vijf en tien procent water) vormen deze oxyden zwavelzuur en salpeterzuur. Daardoor is zelfs het geheel zuurvrij geproduceerde papier van voor 1800 niet meer veilig.

Het probleem van de papierafrbraak onder invloed van zuren moet op twee verschillende fronten worden aangepakt: enerzijds moet het in bibliotheken en archieven aanwezige papier dat nog te redden is, worden ontzuurd en verstevigd en tevens moet de papierfabricage zó worden omgeschakeld, dat zij permanent houdbaar papier levert. We zullen dit toelichten en met het laatste beginnen.

Houdbaar papier

Als grondstof voor houdbaar papier komt behalve katoen en linnen alleen volledig gebleekte houtpulp in aanmerking; het papier mag absoluut geen ongebleekte cellulose of houtslijp bevatten. Wat de papierfabrieken op het ogenblik als 'houtvrij' papier leveren, mag volgens de geldende normen tot tien procent houtslijp bevatten.

Houdbaar papier moet neutraal tot licht alkalisch zijn (pH tussen 7,5 en 9,5). Het moet een stof bevatten die zuren, die vanuit de atmosfeer in het papier zouden dringen, neutraliseert. Magnesiumcarbonaat en calciumcarbonaat zijn dergelijke stoffen. De lijmstof in het papier moet neutraal zijn; er moet dus een andere lijmeling worden toegepast dan de gebruikelijke aluin-harslijmeling.

De papierindustrie is technisch best in staat papier te leveren dat aan deze eisen voldoet.



8. Aan deze prent valt niet veel meer te redden. Door

verzuring is het papier grotendeels verpulverd.

9. Lignine is verantwoordelijk voor de sterke verkleuring van papier onder invloed van licht. Door voorzichtig bleken is een

oude afbeelding vaak nog goed te herstellen. De hoek rechtsonder is niet gebleekt, de rest van deze steendruk wel.

Bij grote hoeveelheden kan dat al met een slechts geringe prijsverhoging. In bepaalde omstandigheden kan men zelfs met moderne procédé's zuurvrij papier goedkoper en milieuvriendelijker produceren, maar de klant moet er wel om vragen. En dat zal hij pas doen als hij beseft dat het papier dat we nu produceren een betrekkelijk korte levensduur heeft.

Zweden, Finland en Italië stellen genoemde eisen aan al het door de overheid gebruikte papier. In de Verenigde Staten brengt men houdbaar papier op de markt, dat als zodanig herkenbaar is aan het teken ∞ . De laatste jaren verschijnen ook in andere landen boeken waarin vermeld wordt dat ze zijn gedrukt op zuurvrij papier. In Nederland en België zou de overheid, met een gebruik van meer dan 100 000 ton per jaar, de aanmaak van zulk papier kunnen bevorderen. Een voorstel, dat behalve de bovengenoemde eisen ook specificaties betreffende de witheid, de scheursterkte en

de vouwwerstand bevat, is onlangs gepubliceerd en aan de introductie van de kwaliteits-eisen wordt gewerkt.

Ontzuren

Aangetast papier, dat nog niet verpulvert zodra men het behandelen wil, kan ontzuurd en eventueel verstevigd worden. Daartoe heeft men in de afgelopen vijftien jaar enige methoden ontwikkeld.

Het eenvoudigst is het ontzuren van papier in een waterige oplossing van calciumhydroxyde, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. De aanwezige sulfaationen worden dan gebonden tot calciumsulfaat, waarbij de hydroxylionen het papier neutraliseren. Om te zorgen dat zuur uit de atmosfeer later geen schade zal aanrichten wordt een overmaat calciumhydroxyde gebruikt, dat met koolstofdioxide uit de lucht calciumcarbonaat vormt in het papier. Deze en andere waterige methoden



zijn goedkoop, maar hebben het nadeel, dat men de boeken uit hun band moet halen, en dat inkt en kleuren kunnen uitvloeien. Men heeft daarom gezocht naar alkalische stoffen die in organische vloeistoffen opgelost kunnen worden en naar ontzuring door middel van gasvormige stoffen.

De Library of Congress heeft de voorwaarden omschreven waaraan een ideale ontzuringsmethode voor papier moet voldoen. Er zou geen voorselectie van de boeken nodig moeten zijn en geen ontwatering. Bij een korte impregnatietaid moet het papier een pH bereiken van 7 tot 8,5, terwijl twee procent alkalische reserve in het papier moet achterblijven. Inkt, verf en plastic omslagen mogen niet worden aangetast. De ontzuringsinstallatie moet eenvoudig en goedkoop zijn en geen gevaar opleveren voor gezondheid en milieu.

Zo'n procédé bestaat niet, maar er zijn al enige methoden in gebruik, die het ideaal benaderen. We zullen er enkele kort behandelen en daarbij de meeste aandacht besteden aan het DEZ-proces, waar de Library of Congress het meeste van verwacht. Dit proces werd in 1989 door het AKZO-concern overgenomen om te komen tot enige ontzuringsfabrieken met een zeer grote capaciteit.

Het Wei T'o-procédé gebruikt methoxy-magnesiummethylcarbonaat opgelost in methanol. Dit wordt gemengd met freon 12 en freon 113 (chloorfluorkoolwaterstoffen, die de ozonlaag aantasten; ze worden ook gebruikt in koelkasten). De boeken worden in de vloeistof ondergedompeld en met het altijd in papier aanwezige water worden magnesiumcarbonaat, magnesiumhydroxyde en magnesiumoxyde gevormd. Deze vormen met de in het papier aanwezige zuren stabiele neutrale zouten, terwijl het teveel aan oorspronkelijke magnesiumverbindingen een buffer vormt om later binnendringende zuren te neutraliseren.

De Canadian Library werkt al acht jaar met deze methode en behandelt op het ogenblik circa 40000 boeken per jaar. Omdat plastic, verf en inkt aangetast worden kan men een kwart van het boekenaanbod niet ontzuren.

In de Public Records Office in Londen en bij de Verenigde Naties in Geneve wordt het zogenaamde VPD-procédé gebruikt (Vapor Phase Deacidification). Hierbij worden in elk boek enige vellen papier gelegd waarop cyclohexylaminecarbonaat-kristallen zijn afgezet.

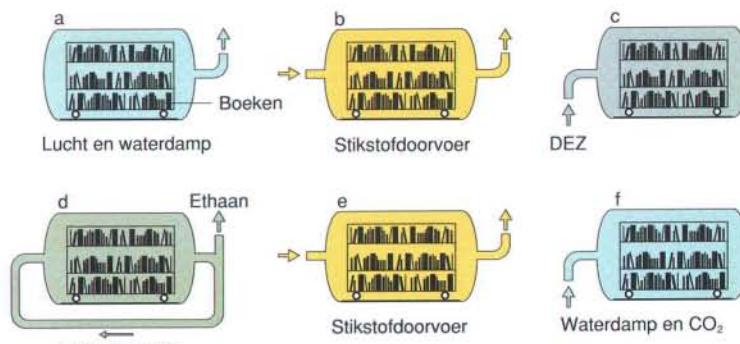




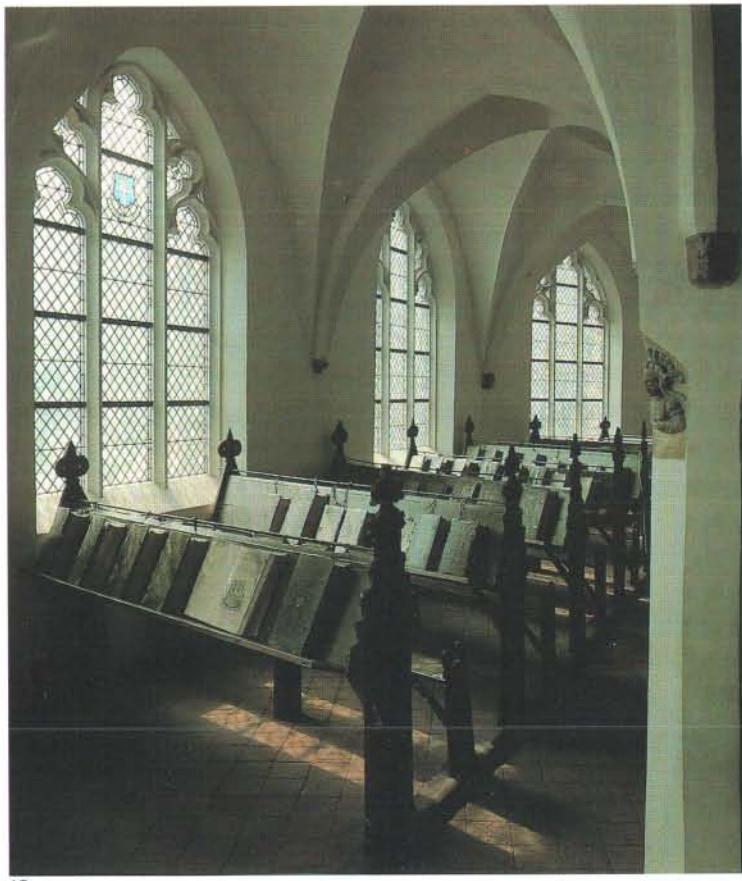
10 en 11. Het DEZ-procédé voldoet redelijk aan de eisen die men aan papierontzuring stelt. De boeken

worden op karretjes in het reactievat gebracht. Dat bevindt zich on een gesloten ruimte. Omdat

DEZ met water of zuurstof erg explosief is, moet de installatie aan strenge normen voldoen.



11



12 en 13. De Librije van Zutphen behoort tot de oudste bibliotheken van de Lage Landen. Omdat juist in de vorige eeuw veel papier van slechte kwaliteit is gemaakt, zijn heel oude boeken en handschriften vaak nog in betere staat dan boeken van zo'n 150 jaar oud (12).

13

Dit is een organische ammoniumverbinding, die bij kamertemperatuur vluchtig is. De kristallen verdampen en de damp doordringt alle papier. De ontzuring volstrekt zich vrij langzaam en is pas na enige dagen voltooid.

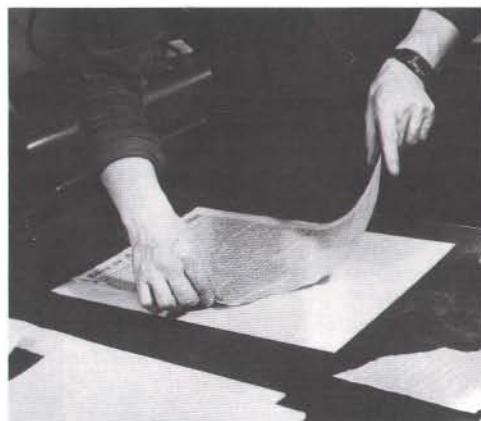
De DEZ-methode

Het DEZ-procéde is na een grondig vergelijkend onderzoek door de Library of Congress uitgekozen voor het op grote schaal ontzuren van zijn boekenbestand. Het ontzuringsmiddel is gasvormig en de boeken blijven droog. DEZ is de afkorting van diëthylzink, $(C_2H_5)_2Zn$. Het is een heldere kleurloze vloeistof die stolt bij $-30^{\circ}C$ en kookt bij $118^{\circ}C$.

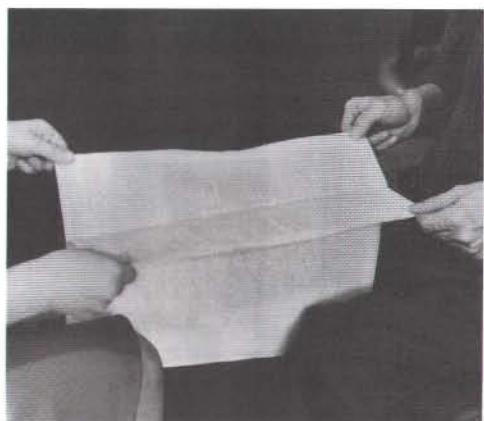
Een groot nadeel van DEZ is, dat de stof heftig reageert met water en aan de lucht spontaan ontbrandt, waarbij zinkoxyde, koolstof-

dioxyde en water worden gevormd. Het is echter bij een temperatuur beneden $120^{\circ}C$ in een inerte omgeving van bijvoorbeeld droge stikstof volkomen stabiel. Uit het voorgaande is duidelijk dat er geen sprake van kan zijn, dat een middelgrote bibliotheek z'n eigen DEZ-installatie gaat aanschaffen. Alleen in een speciale fabriek, met deskundig personeel, kan men veilig werken waarborgen. Op het ogenblik is een proeffabriek in gebruik waarin 40 000 boeken per jaar ontzuurd kunnen worden. Dit lijkt een groot aantal, maar het huidige boekenbezit van de Library of Congress zou daarmee de eerste 200 jaar nog niet ontzuurd zijn.

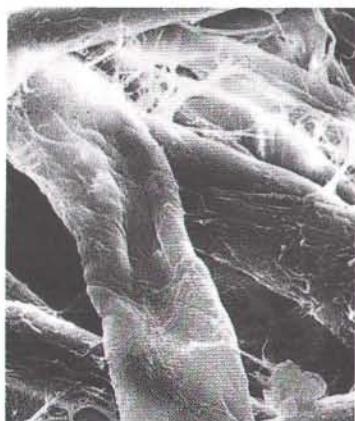
Het is de bedoeling dat men in de naaste toekomst in de VS een fabriek bouwt met een capaciteit van één miljoen boeken per jaar. Ook in Europa is zo'n fabriek gepland, maar nog niets daarvan is definitief vastgelegd. Nog al-



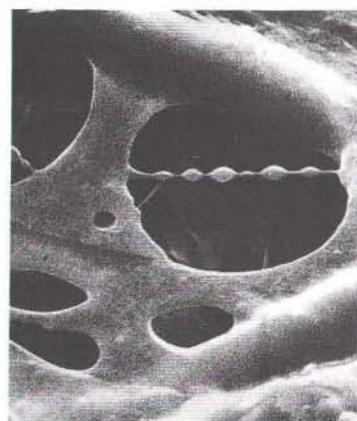
14



15



18



19

14, 15, 16 en 17. In de Deutsche Bücherei in Leipzig verstevigd men bedriegd papier door het tussen twee dragerellen te plakken, deze 'sandwich' te splitsen, de helften op heel dun papier te plakken en de dragerellen te verwijderen.

18 en 19. Papier dat bijna uiteenvalt is opnieuw te verlijmen met een stof die erin doordringt en onder invloed van straling polymeriseert. Onder een elektronenmicroscoop is zichtbaar hoe het papier er voor (18) en na behandeling uitziet.

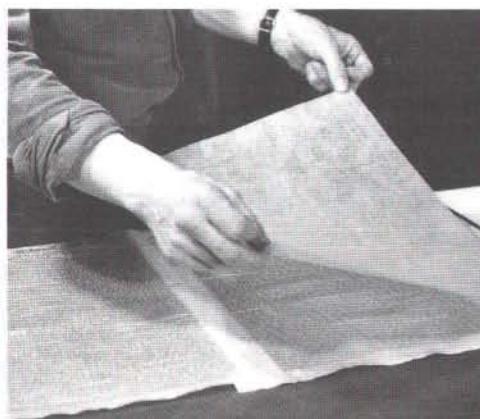
tijd schijnt het ramp-karakter van de verzuring van 700 miljoen boeken niet te zijn doorgedrongen tot de instanties die geld voor de afwending van de ramp moeten vrijmaken.

De DEZ-ontzuring gebeurt als volgt: de boeken worden in een reactievat gebracht, waarna door verwarming onder lage druk het grootste deel van het water uit het papier verdampst. Dat duurt ongeveer een etmaal. Het vat wordt gereinigd door er zes uur lang stikstof doorheen te voeren. Daarna wordt de DEZ in dampvorm in het vat toegelaten, waarna de ontzuringsreactie zich in ongeveer twee uur voltooit. Na een tweede reiniging met stikstof gedurende acht uur wordt waterdamp toegevoerd zodat de boeken hun normale hoeveelheid water kunnen opnemen; dit duurt twaalf uur. In het geheel blijven de boeken zo'n zestig uur in het reactievat. Recycling van grondstof-

fen en controle van elke fase van het proces vormen een belangrijk onderdeel van het grootschalige ontzuringsprocédé. De kosten per boek in de proeffabriek liggen rond de twaalf dollar, maar men verwacht dat dit tot vier dollar zal teruglopen, zodra men grootschalig kan gaan werken.

Ontzuring is effectief voor boeken waarvan het papier nog niet bros is geworden. Een procédé dat het papier tegelijk ontzuurt en verstevigd is de enige uitkomst voor papier dat wel gemakkelijk verpulvert. Op kleine schaal wordt zo'n techniek al toegepast in de Deutsche Bücherei in Leipzig. Elk blad wordt gesplitst in een voor- en achterzijde en daarna worden deze op een zeer dun vel geplakt. Het systeem werkt halfmechanisch, maar is natuurlijk slechts bruikbaar voor losse vellen. In The British Library experimenteert men met stoffen die tegelijk met de ontzuring in het papier worden gebracht en die achteraf onder invloed van gammastraling polymeriseren tot lange ketens. In de Oostenrijkse Nationalbibliothek gebruikt men een waterig ontzuringsprocédé en voegt men methylcellulose toe ter versteviging. Dit blijkt redelijk succesvol voor het behandelen van de krantencollectie.

Helaas geeft geen van de verstevigingsmethoden waarmee men op het ogenblik experimenteert uitzicht op bruikbaarheid voor massabehandeling op korte termijn.



16



17

Literatuur

Emons AMC. De rol van de plasmamembraan in de celwandsynthese. *Vakblad voor Biologen* 1988; 68: 4, 63-68.

Goede vriend, GJM. Papier — Van boomstam tot houtvrij. *Natuur & Techniek* 1987; 55: 6, 462-477.

Bronvermelding illustraties

Ton Vanderplas, Rotterdam: 192-193
F. Steward en K. Mühlthaler/uit: *Ann. Botany* 1953; 17, 295: 1

Anne Mie Emons, LU Wageningen/uit: *Vakbl. Biol.* 68 (4), 1988: 2 en 3 (naar Emons)

Papierfabriek Schut BV, Heelsum: 6

Thijs Habets, Valkenburg a/d Geul: 7

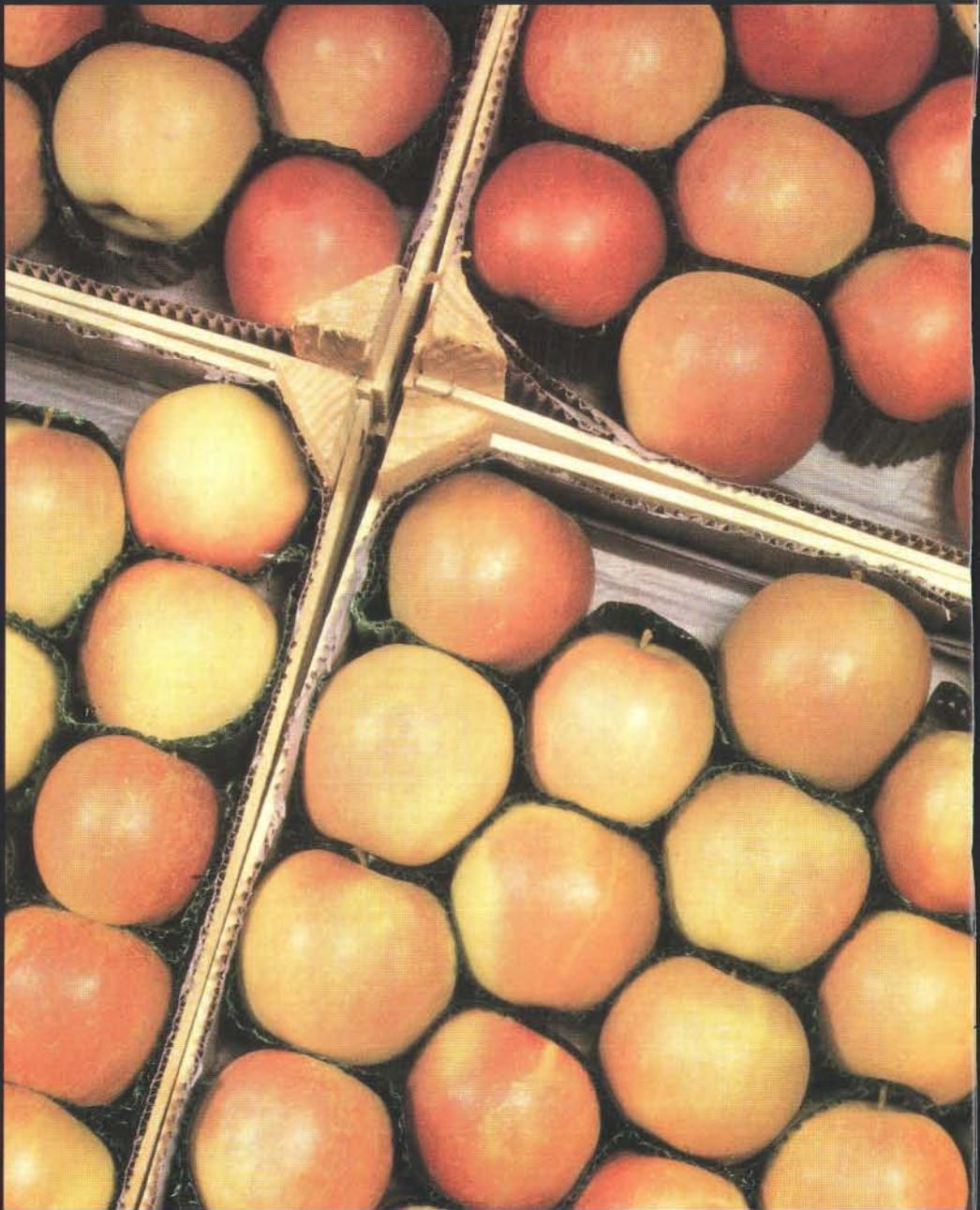
Gemeentearchief Amsterdam: 8, 9 en 12

Akzo Nederland BV, Amersfoort: 10

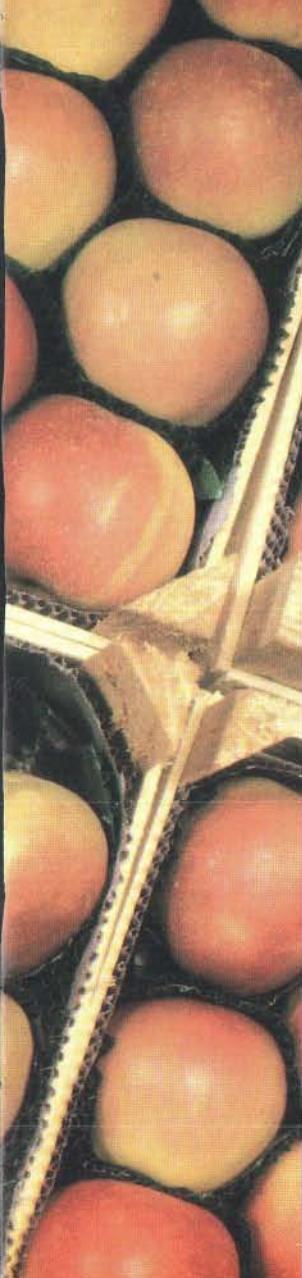
Streek-VVV Achterhoek, Zutphen: 13

Deutsche Bücherei, Leipzig, DDR: 14, 15, 16 en 17

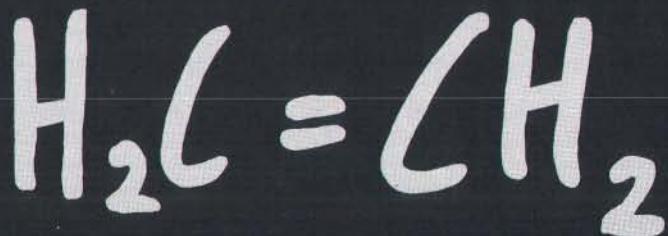
The British Library/Surrey University, UK: 18 en 19



een gas als hormoon



Alle planten produceren ethyleen. Zelfs kleine hoeveelheden van dit gasvormige plantenhormoon leiden tot een veelheid aan reacties in een plant, uiteenlopend van 'supergroei' tot verwelking. Een uiterst gevoelige, lasergestuurde foto-akoestische meettechniek maakt het mogelijk de zeer geringe ethyleenafgifte van planten onder natuurlijke omstandigheden te registreren. Ze verlegt daarmee de grenzen van het mogelijke in het onderzoek naar dit hormoon.



Ethyleen stimuleert onder meer de rijping van fruit en de verwelking van bloemen. Het gasvormige hormoon wordt door alle plantendelen in zeer kleine hoeveelheden geproduceerd. Met de lasergestuurde foto-akoestische meetmethode kan de productie van ethyleen in een doorstromingssysteem (rechtsboven) worden bepaald.

L.A.C.J. Voesenek
Experimentele Plantkunde
Katholieke Universiteit Nijmegen

F.J.M. Harren
Molekuul- en Laserfysica
Katholieke Universiteit Nijmegen

E.J. Woltering
Agrotechnologisch Onderzoeksinstuut
Wageningen

Etheen (C_2H_4), in de plantenfysiologie nog altijd aangeduid met de oude naam ethyleen, is een eenvoudig organisch molekulaal, met een dubbele binding tussen de beide koolstofatomen. Bij kamertemperatuur en onder normale druk is ethyleen een kleurloos, reukloos en makkelijk ontvlambaar gas.

In 1864 is voor het eerst een reactie van planten beschreven, die achteraf aan ethyleen kon worden toegeschreven. Een aantal bomen langs een laan vertoonden een abnormaal sterke bladval, die was te wijten aan een lek in een gasleiding van de stadsverlichting onder het wegdek. Pas rond de eeuwwisseling constateerde de Russische plantenfysioloog Dmitry Nikolayevich Neljubov, dat ethyleen de biologisch actieve component van het stadsgas was. Neljubov merkte op dat hele jonge erwteplanten horizontaal in plaats van normaal verticaal verder groeiden, wanneer hij ze blootstelde aan stadsgas. De eerste echte aanwijzing dat planten zelf ethyleen produceren stamt uit 1910. Een Amerikaanse onderzoeker bemerkte

dat bananen die hij samen met rijp fruit verpakte, versneld rijpen. Het duurde echter tot 1934 voordat de Engelse onderzoeker Gane, met behulp van een chemische absorptietechniek, kon bewijzen dat rijpend fruit ethyleen produceert.

Het onderzoek naar de ethyleenhuisvesting van planten is na 1959 in een stroomversnelling terecht gekomen door de ontwikkeling



1. Dmitry Nikolayevich Neljubov (1876-1926) onderkende dat ethyleen een regulerende functie heeft op plantengroei.

2. De effecten van een lekkende verlichtingsgasleiding op bomen. 'Gasrohr' geeft aan waar de leiding het wegdek kruist.

Lasergestuurde foto-akoestische detectie

In 1881 ontdekte Alexander Graham Bell dat het mogelijk is om lichtenergie in geluidsenergie om te zetten, het zogenaamde foto-akoestisch effect. Met de recente ontwikkeling van krachtige infraroodlasers kwam er opnieuw belangstelling voor het verschijnsel. Een infraroodlaser genereert straling in het golflengtegebied tussen de negen en elf micrometer.

Bij bepaalde golflengten (bijvoorbeeld $10,53 \mu m$) is de laserbundel in staat het ethyleenmolekulaal aan te slaan, waarbij het molekulaal wat extra energie opneemt. Hierna kan het molekulaal op twee manieren (afb. I-1) de extra energie verliezen en weer terugvallen naar zijn oorspronkelijke toestand. Een molekulaal kan de opgenomen energie spontaan verliezen door het uitzenden van licht. Dat vergt echter bij atmosferische druk relatief veel tijd en daarom zal het molekulaal veel eerder via botsingen met andere molekulen zijn energie verliezen. Dit veroorzaakt een toename in kinetische energie: de molekulen gaan sneller bewegen en de temperatuur (T) van het gas stijgt. In een afgesloten ruimte (met volume V) leidt dit, volgens de wet van Boyle-Gay-Lussac, tot een verhoging van de druk (P):

$$\frac{PV}{T} = \text{constant}$$

Wanneer we de laserbundel door een afgesloten ruimte (de foto-akoestische meetcel), met daarin een zekere hoeveelheid ethyleen, leiden zal dus een drukverhoging ontstaan. Plaatsen we nu een draaiende schijf met gaten (chopper) vóór de meetcel in de laserbundel, dan veroorzaken de periodieke onderbrekingen van de bundel drukveranderingen met de onderbrekfrequentie. De drukveranderingen zijn waar te nemen met een uiterst gevoelige microfoon. Het microfoonsignaal (s) is recht evenredig met de ethyleenconcentratie (N) van de lucht in de meetcel, de lichtabsorptie (x) door ethyleen, het ingestraalde laservermogen (P) en de microfoongevoeligheid (M):

$$s = F N x P M$$

De vorm en de afmetingen van de foto-akoestische meetcel bepalen de evenredigheidsconstante F . Hoge F -waarden, dus een sterk microfoonsignaal, treden op in een lange en dunne meetcel. Ook akoestische

van de gaschromatografie: een eenvoudige methode om kleine hoeveelheden gasvormige stoffen, dus ook ethyleen, te meten. Ethyleen bleek een regulerende rol te spelen bij tal van processen in de levenscyclus van een plant, van kieming tot afsterving.

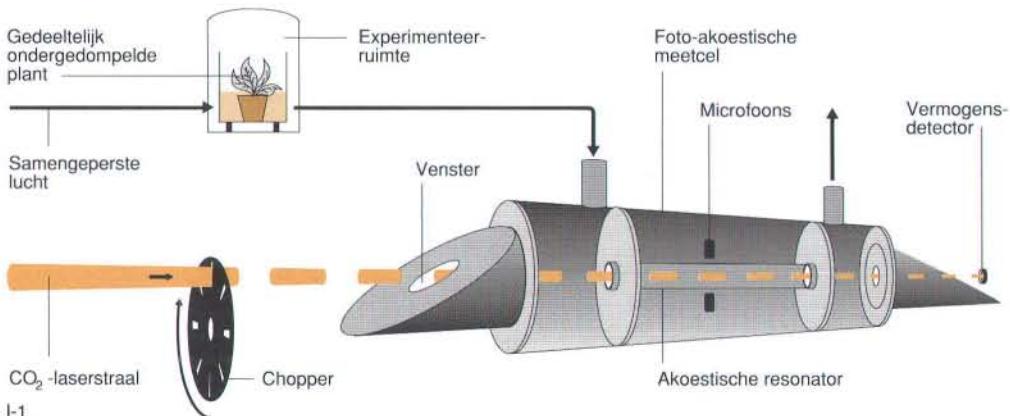
De commerciële betekenis van ethyleen ligt in de rol die dit hormoon speelt bij de rijping van fruit, zoals appels, tomaten en bananen.

Ook het afvallen van bladeren, bloemen en vruchten wordt door ethyleen gereguleerd. Ethyleen bevordert dit zogenaamde *abscissieproces* doordat het de productie stimuleert van enzymen die in de abscissie-zone, bijvoorbeeld aan de voet van blad- of vruchtsteel, bepaalde bestanddelen van de celwanden afbreken.

De meeste planten produceren maar zeer weinig ethyleen. Daardoor is detectie en nauwkeurige meting van het gas pas mogelijk nadat men het enige tijd in een afgesloten ruimte heeft laten ophopen. Een afgesloten ruimte heeft echter een aantal nadelen: zo kan een wijziging in de koolstofdioxide- en zuurstofgehaltes in de directe omgeving van de plant de ethyleenproductie beïnvloeden en is ethyleen in staat de eigen synthese te stimuleren (auto-katalyse), of juist te remmen (auto-inhibitie). Voor nauwkeurige metingen van de natuurlijke ethyleenproductie is daarom een continue verversing van de lucht in een zogenaamd doorstromingsysteem gewenst. Uiteraard treedt dan, zoals in de buitenlucht, een sterke ver-

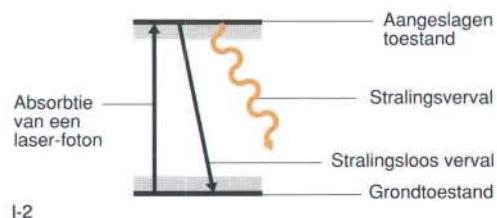


2



I-1, 2. Een door een laserfoton aangeslagen ethyleenmolekuul kan via verval met of zonder straling, de extra energie verliezen. Het kan die energie echter

ook door botsingen met andere molekülen kwijtraken. Een gevoelige microfoon kan de drukverhoging die daar het gevolg van is registreren.



BIOLOGIE

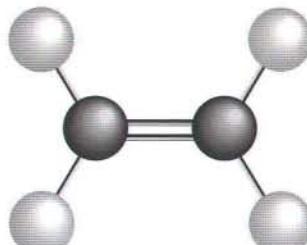
3. Ethyleen, plantenhormoon én grondstof voor de productie van plastics.

4. *Rumex palustris*, de moeraszuring, is een plant van plekken met sterk wisselende waterstanden.

5. Uiterwaarden, hier bij Nijmegen, overstromen onregelmatig. Dat kan ook gebeuren in het groeiseizoen. Willen de planten die onderlopen in leven blijven, dan vereist dat bijzondere aanpassingen.

TABEL Enkele ethyleenconcentraties

Concentratie (ppm)	
Buitenlucht in Wageningen	
Bij helder winderig weer	0,002 – 0,005
Smog-alarmfase Ruhrgebied	0,05
Bloemenveilinghal	
Tijdens minimale activiteit	0,01
Tijdens maximale activiteit	0,1 – 0,3
Buitenlucht in industriegebieden	< 0,3
Rook van houtvuur	3 – 4
Uit kolen gegenereerd gas	10 – 20
Uitlaatgassen auto's	400 – 500
Bewaarcel appels	< 2000



3



4

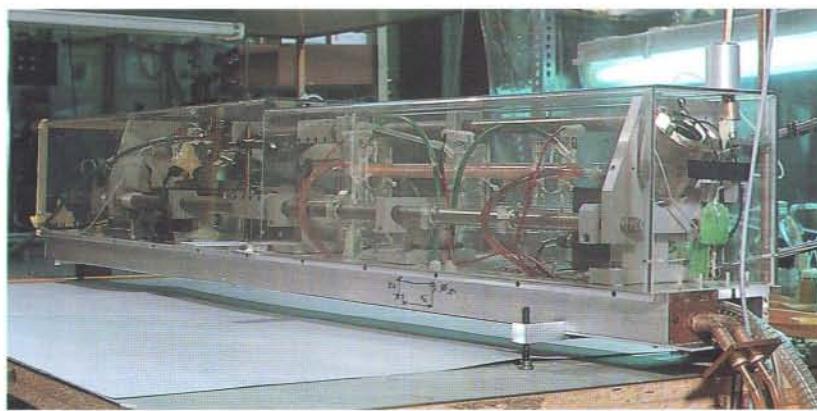


5

INTERMEZZO I

resonantie, als in een orgelpijp, geeft een verhoging van de F-waarde. Deze resonantie wordt verkregen door de onderbrekingsfrequentie van de laser zo te kiezen dat er precies een halve akoestische golflengte in de meetcel past. Het laservermogen in de meetcel kan nog aanzienlijk worden opgevoerd door de cel

in de resonantieholte van de laser te plaatsen. Ook dat versterkt het microfoonsignaal. Het is dankzij deze versterkingen mogelijk de zeer lage detectiedrempel van 1 ppt te bereiken; dit is vergelijkbaar met het aantonen van één druppel chloor in vijftig gevulde zwembaden.



I-3

I-3. De CO₂-laser en de foto-akoestische meetcel in een experimentele opstelling.



dunning op van het door de plant geproduceerde ethyleen; veelal is een meting met een gaschromatograaf dan niet meer mogelijk. Om de ethyleenproductie in een doorstromingsysteem te meten zijn daarom uiterst gevoelige meettechnieken nodig. De onlangs ontwikkelde lasergestuurde foto-akoestische detectiemethode (intermezzo I), met een gevoeligheid van enkele ppt's (part per trillion: 1 deel op 10^{12} delen), voldoet aan deze eis.

Ethyleen als hormoon

Alle hogerontwikkelde planten en alle tot nu toe onderzochte lagere planten produceren het hormoon ethyleen. Ook schimmels en bacteriën produceren ethyleen, mits ze groeien op de juiste voedingsbodem. De productie (intermezzo II) door afzonderlijke delen van hogere planten, zoals bladeren, stengels, wortels, bloemen, vruchten en wortelknollen, loopt in hoeveelheid sterk uiteen, van enkele picoliters tot enkele microliters ethyleen per gram versgewicht per uur.

Over de werking van ethyleen op molekulair niveau is erg weinig bekend. Het is echter wel duidelijk dat binding met een bepaald recep-

toreiwit onontbeerlijk is. Men veronderstelt dat de ethyleenreceptor, die in de cel voornamelijk gelokaliseerd is in het endoplasmatisch reticulum, een metaalion bevat; mogelijk Cu^{2+} . Ethyleen kan zich niet alleen tijdelijk hechten aan de receptor, maar kan ook voor een klein deel worden omgezet tot koolstofdioxide, ethyleneoxyde en ethyleenglycol, waarschijnlijk zonder dat dit fysiologische gevolgen heeft. Veruit het meeste ethyleen diffundeert 'na gedane arbeid' ongewijzigd uit de plant de atmosfeer in. De aard van die arbeid en de gevolgen ervan, willen we aan de hand van een tweetal voorbeelden, de reactie van een plant op overstroming en de verwelking van orchideeen, laten zien.

Overstromingen

Onregelmatige overstromingen kenmerken de uiterwaarden van de Nederlandse en Vlaamse rivieren. Planten in deze gebieden worden tijdens de overstromingen geconfronteerd met een gebrek aan zuurstof in de bodem. In de bodem is, na het onderlopen, het laatste restje zuurstof snel verbruikt door plantenwortels en de micro-organismen die daar leven. De orga-

nismen die het in deze anaërobe omgeving uithouden produceren giftige stoffen, die zich ophopen in de waterverzadigde bodem.

De moeraszuring (*Rumex palustris*) is één van de planten uit de vaak en langdurig overstroomde delen van de uiterwaarden. Zodra deze plant onderloopt richten de vlak liggende bladeren zich op en zullen vooral de jongste bladstelen sneller gaan groeien. Hierbij kunnen groeihsneden optreden van soms veel meer dan één millimeter per uur. Onder normale omstandigheden worden dezelfde bladstelen elk uur ongeveer 0,3 mm langer; de term 'supergroei' is voor overstroomde planten dan ook zeer toepasselijk. Beide processen leiden tot een kortere afstand tussen bladpunt en wateroppervlak en uiteindelijk tot een herstel van het contact tussen het blad en de atmosfeer. Hierdoor kan lucht, met daarin de noodzakelijke zuurstof, via blad en bladsteel de wortels in de zuurstofloze bodem bereiken. De wortelademhaling, essentieel voor hogerontwikkelde planten overleven, wordt hierdoor hersteld,

terwijl ook de fotosynthese in de bladeren, die onder water sterk gereduceerd was, weer op gang komt.

Ethyleen neemt een centrale positie in bij de regulatie van deze aanpassingen. Een fysisch gegeven vormt hiervoor de basis: de diffusiesnelheid van een gas, zoals ethyleen, is in water ongeveer 10000 maal lager dan in lucht. Zodra een moeraszuring wordt overstroomd zal de diffusie van ethyleen naar de omgeving zeer gering worden, met als gevolg dat de ethyleenconcentratie in de plant stijgt. Binnen twaalf uur na overstrooming kan de ethyleenconcentratie in de moeraszuring van ongeveer 0,1 ppm zijn opgelopen tot 1 à 2 ppm (part per million). Deze hoge ethyleenconcentraties leiden tot zowel de versnelde groei van de bladstelen als tot de verandering van de bladstand, doordat de bladstelen aan de onderkant harder gaan groeien dan aan de bovenkant.

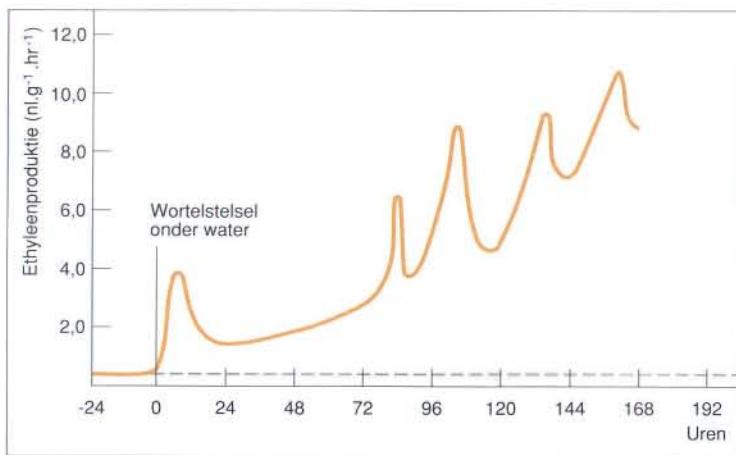
In een moeras wortelt een plant vrijwel steeds in een waterverzadigde bodem; zij zal zelden geheel onder water komen te staan. On-



6



7



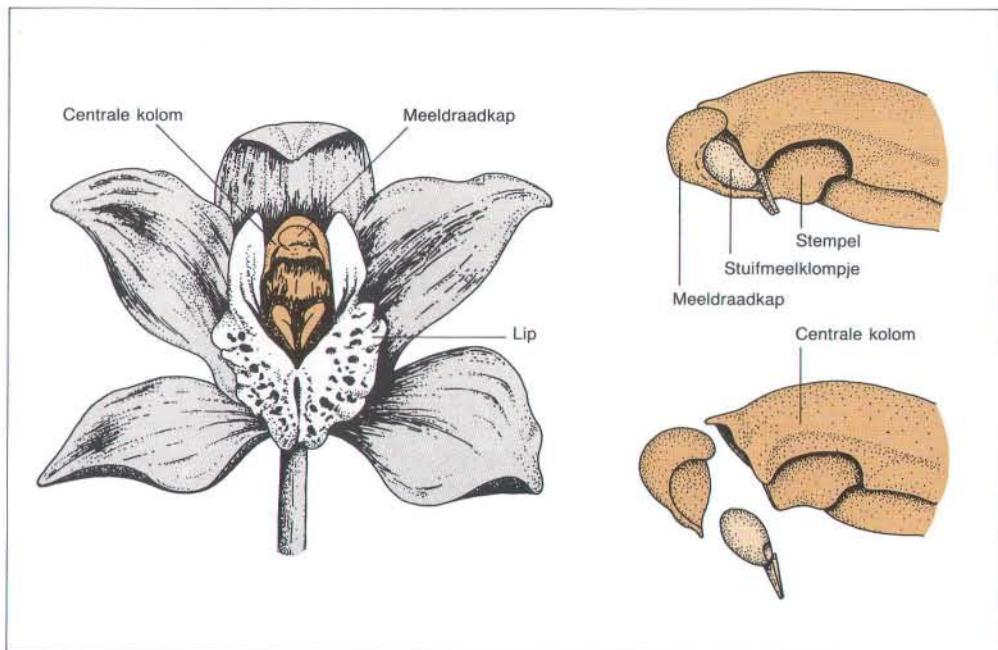
8

6. Na een experiment waarbij moeraszurings wel (links) of niet gedurende een week met hun wortels ondergedompeld groeiden, blijkt duidelijk de invloed van deze behandeling. De bladeren van de 'overstroomde' planten zijn veel groter geworden en hebben zich sterker opgericht dan die van soortgenoten die het droog hielden.

7. Een bladpunt van een moeraszuring heeft, onder invloed van ethyleenophoping in de plant, het wateroppervlak bereikt.

8. De ethyleenproductie van een moeraszuring neemt toe als die met zijn wortelstelsel onder water wordt gezet. Dat veroorzaakt een toename van de celstrekking in de bladstelen van deze plant.

9. Op het uiteinde van de centrale kolom van een *Cymbidium*bloem, bevinden zich onder een kapje de stuifmeelklompjes. In de natuur worden ze door een naar nectar zoekend insect verwijderd.



9

danks het feit dat ethyleen dus vrij naar de atmosfeer kan diffunderen leidt deze situatie toch tot een ingrijpende wijziging in de ethyleenhuishouding, ten opzichte van een plant die wortelt in droge grond. Metingen met het foto-akoestische systeem wijzen uit, dat in de moeraszuring de productie van ethyleen stijgt zodra zijn wortels onder water komen te staan. Deze stijging is verre van geleidelijk, maar vertoont een patroon van pieken en dalen in een dag-nachtritme. De ethyleenproductie is na acht dagen ongeveer twintigmaal zo groot als bij planten van een goed doorluchte bodem. Deze verhoogde productie heeft, evenals ethyleenophoping na volledige onderdompeling, versterkte groei van bladstelen tot gevolg. Wellicht moeten we deze reactie zien als een voorzorgsmaatregel voor hogere waterstanden.

Verwelking van bloemen

Bloemen vormen voor veel landen een belangrijk exportartikel; ze worden per auto, boot of vliegtuig van en naar alle delen van de wereld vervoerd. Het is uiteraard zaak dat het product vers bij de consument aankomt en dat die

er ook nog enige tijd plezier van heeft. Transport van bloemen is echter onlosmakelijk verbonden met stress: snijden beschadigt de stengels en de hoeveelheid licht, de temperatuur en de samenstelling van de lucht in de vrachtruijnen wisselen sterk. Bij gevoelige soorten zoals anjers en orchideeën leidt dit veelal tot een aanmerkelijk versnelde veroudering en verwelking. De relatie tussen stress, ethyleensynthese en verwelking zal nader worden toegelicht aan de hand van een *Cymbidium*-orchidee.

Bij een orchidee zijn meeldraden, stempel en stijl vergroeid tot één orgaan: de centrale kolom. Op de top van deze kolom bevinden zich twee stuifmeelklompjes die afgedekt zijn door een kapje. In de natuur verwijderd een naar nectar zoekend insect per ongeluk de klompjes en het kapje. Doordat de stuifmeelklompjes een kleverig vlakje bezitten plakken ze aan het insect. Bij het bezoek aan een volgende bloem blijven de klompjes op de stempel achter, waarmee de bloem bestoven is. Verwijdering van de klompjes en/of het kapje van de centrale kolom (*emasculatie*) heeft tot gevolg dat de bloem snel verwelkt. Dit wordt eerst zichtbaar door een felle roodverkleuring van de zogenaamde lip van de bloem. Later wordt ook

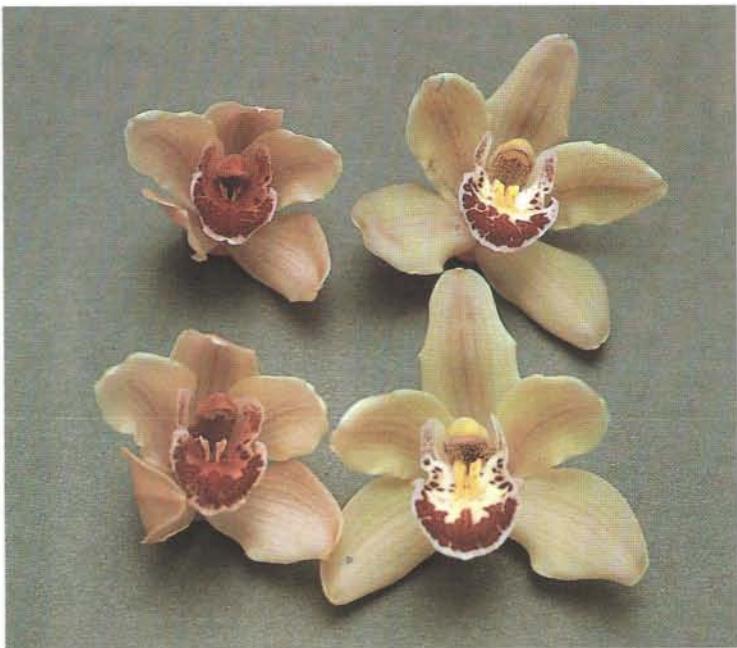
BIOLOGIE

10. Een *Cymbidium*-bloem wordt met een pincet gemaasuleerd, ofwel ontstaan van het kapje op de centrale kolom en de stuifmeelklompjes.

11. Na emasculatie kleurt eerst de lip en vervolgens de hele bloem rood. Uiteindelijk leidt dit tot een versnelde verwelking.



10

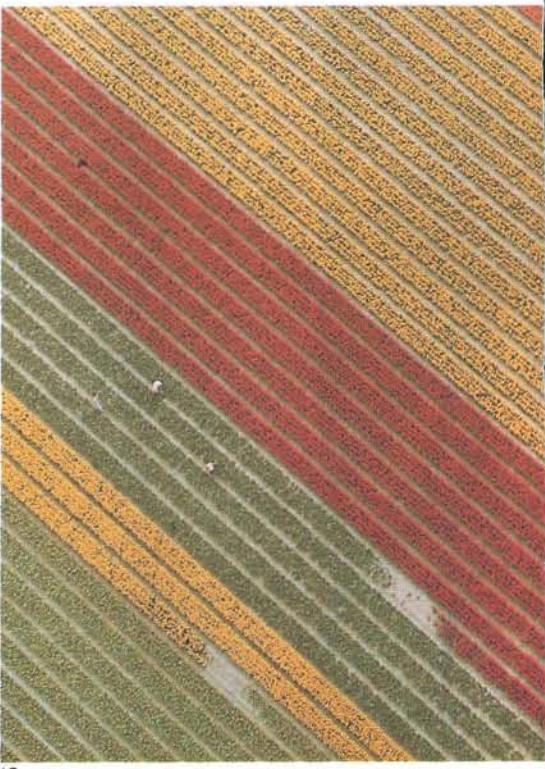


11

de rest van de bloemkroon slap. Dergelijke verschijnselen kunnen ook optreden tijdens het transport van snijbloemen.

We vermoedden dat emasculatie tot een verhoogde ethyleensynthese leidt, aangezien het begassen van de plant met ethyleen dezelfde verschijnselen oproept. Om dat aan te tonen hebben we de ethyleenproduktie van *Cymbidium*-bloemen gemeten met behulp van de laser-gestuurde foto-akoestische techniek. Enkele uren na de emasculatie is een zeer geringe stijging van de ethyleenproduktie meetbaar. Hiermee is bewezen dat emasculatie tot een, zij het zeer geringe, verhoging van de produktie van ethyleen leidt. Ook bij andere soorten orchideën en bij anjers blijkt dat een zeer geringe verhoging van de ethyleensynthese aan de verwelking voorafgaat.

Wat is de oorzaak hiervan? Leidt de beschadiging rechtstreeks tot een verhoogde ethyleen-afgifte, of droogt het weefsel van de centrale kolom door de verwonding uit en stimuleert dat de ethyleenvorming? Om dat te onderzoeken hebben we variaties in de luchtvochtigheid aangebracht. Bij een hoge luchtvochtigheid bleek dat de stijging van de ethyleenproduktie in de geëmasuleerde *Cymbidium*-bloem maar



12

zeer gering was. Tevens bleek onder deze omstandigheden geen versnelde verwelking op te treden. De effecten van emasculatie kunnen dus worden toegeschreven aan uitdroging van het weefsel onder het kapje en de klompjes.

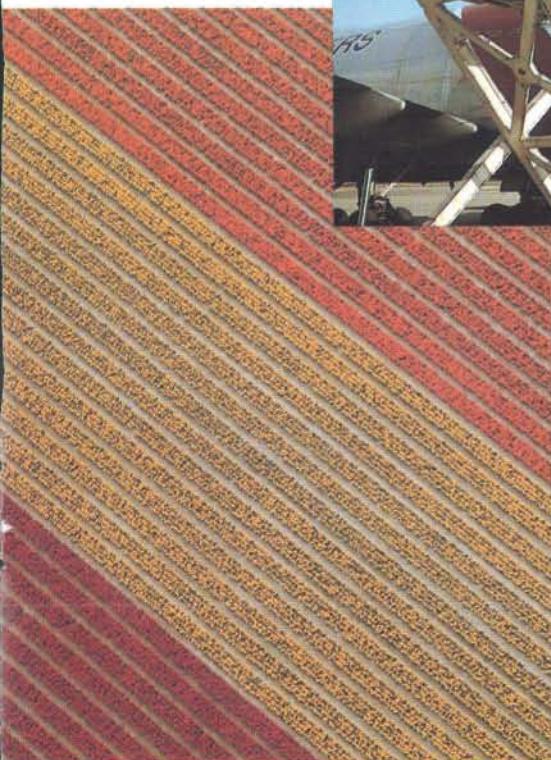
Alhoewel de emasculatiebehandeling plaatsvindt aan de bovenkant van de centrale kolom, blijkt dat alle andere bloemdelen ook verwelken. Met een aangepaste meetopstelling, waarbij de ethyleenafgifte van de centrale kolom onafhankelijk van de rest van de bloem kon

worden gemeten, is onderzocht welke bloemdelen het ethyleen afgeven. Hieruit bleek, in tegenstelling tot de verwachting, dat het overgrote deel van het ethyleen afkomstig was van andere delen dan het uitdrogende deel van de bloem.

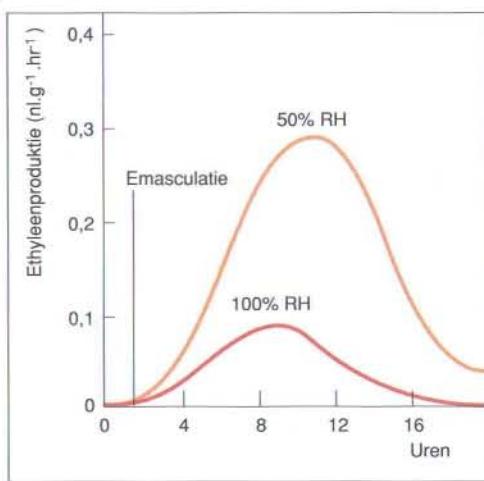
Mogelijk wordt het ethyleen in de centrale kolom geproduceerd en van daaruit naar andere bloemdelen getransporteerd. We hebben deze veronderstelling onderzocht, door de centrale kolom met ethyleen te begassen en ver-

12 en 13. De export van bloemen kan leiden tot stress en een verhoogde ethyleenproductie.

14. Bij een lage relatieve luchtvochtigheid (RH) blijkt een geëmasculeerde *Cymbidium*-bloem een verhoogde ethyleenproductie vertonen. Bij een hoge RH is dat nauwelijks het geval.



13

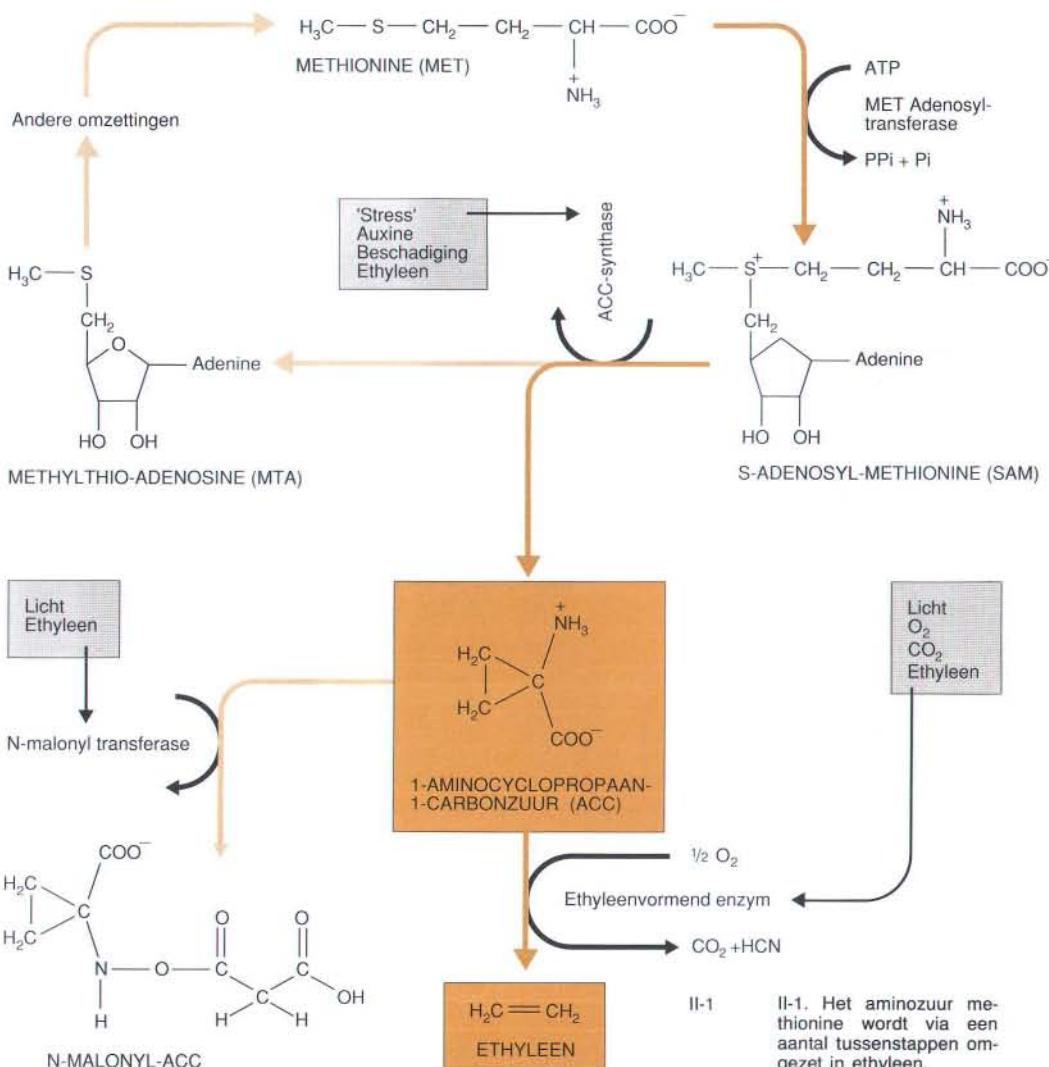


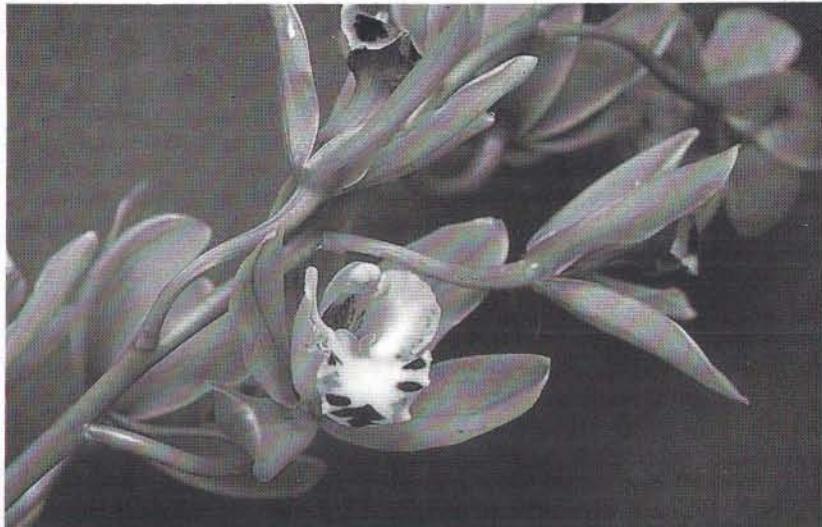
14

Biosynthese van ethyleen

De biosynthese van ethyleen vindt plaats door de omzetting van het aminozuur methionine via S-adenosylmethionine en 1-aminocycloproaan-1-carbonzuur (ACC) in ethyleen (figuur II-1). ACC wordt vaak tegelijkertijd omgezet naar een geconjugeerde vorm, N-malonyl-ACC, waaruit geen ethyleen meer kan worden gevormd. Een aantal enzymen katalyseren de synthese van ethyleen en N-malonyl-ACC (ACC-synthase, ethyleenvormend enzym en N-malonyltransferase). De ethyleenproductie is afhankelijk

van de enzymactiviteit; met name de activiteit van het snelheidbepalende enzym ACC-synthase is belangrijk. De activiteit van de enzymen wordt beïnvloed door stress (ongunstige milieu-omstandigheden), licht, zuurstof- en koolstofdioxidegehalte van de lucht, andere hormonen zoals auxine en door ethyleen zelf. De ethyleenconcentratie in een plant wordt bepaald door de productie, maar ook door de mate van diffusie van dit gasvormige hormoon naar de omgeving.





15. Een tak *Cymbidium*-bloemen waarvan er enkele zijn gemausculeerd. Deze vertonen verkleuring van de lip en verwelking van de overige bloedelen.

15

volgens de ethyleenafgifte van de rest van de bloem te meten. Uit dit experiment bleek dat ethyleen in onvoldoende mate wordt getransporteerd. Dus moet de centrale kolom de rest van de bloem aanzetten tot ethyleenproductie.

Hoe kan het uitdrogende deel van de bloem de ethyleensynthese in andere bloedelen stimuleren? Uit Amerikaans onderzoek was al bekend dat de biochemische 'grondstof' van ethyleen, ACC (zie intermezzo II), vanuit de wortels via de houtvaten naar de bovengrondse delen kan worden vervoerd. We hebben een experiment opgezet om te bepalen of ACC, dat we op de centrale kolom aanbrachten, ook door de *Cymbidium*-bloem kan worden getransporteerd. Hiertoe werd de bloem eerst behandeld met amino-ethoxyvinylglycine, een remmer van de ACC-synthese. Het ethyleen dat we daarna maten zal dus van het aangebrachte ACC afkomstig zijn. Ook in dit geval bleek dat de rest van de bloem vrijwel onmiddellijk ethyleen afgaf. Hieruit volgt de conclusie dat ACC snel en gemakkelijk door de bloem wordt vervoerd en in alle delen van de bloem wordt omgezet in ethyleen. Het gevolg van emasculatie is een verhoogde ACC-synthese in de centrale kolom, waardoor de hele bloem verwelkt.

Verwelking is een proces dat doorgaans vrij plotseling en in de hele bloem plaatsvindt. Stress – ook de beschadiging of uitdroging

van een beperkte hoeveelheid weefsel – vervroegt het tijdstip waarop het proces aanvangt. ACC wordt dan snel door het gehele orgaan vervoerd en omgezet in ethyleen. Misschien zijn specifieke remmers van de ethyleensynthese of -activiteit bruikbaar om de verwelking uit te stellen en zo de nadelige gevolgen van stress tijdens bloementransport te verminderen.

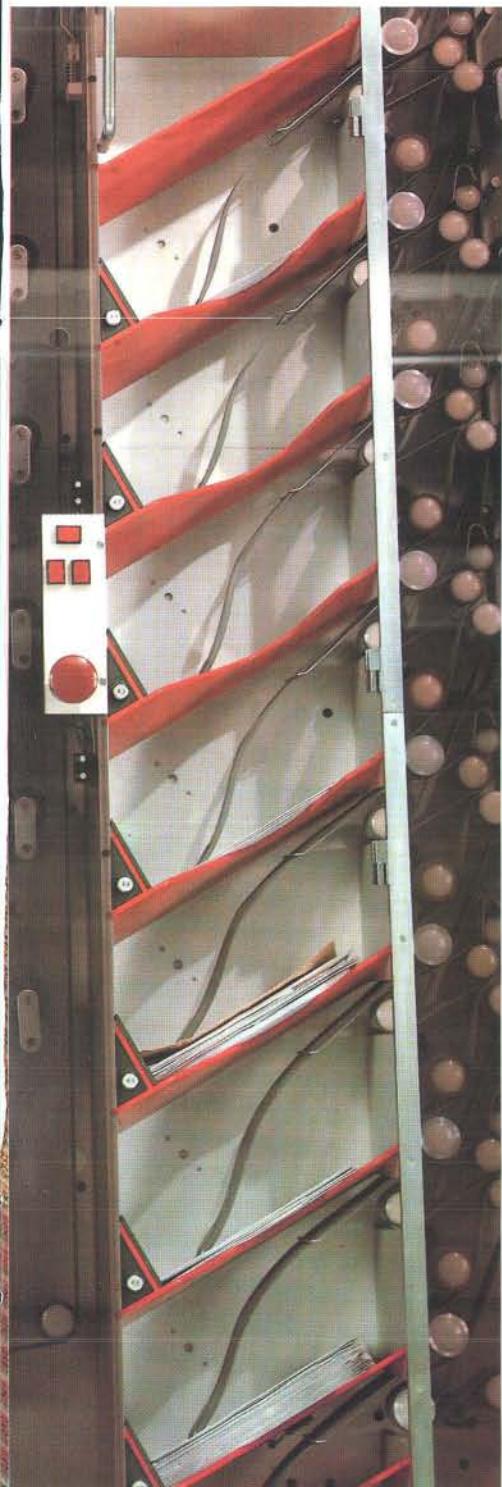
Literatuur

- Harren FJM. The photoacoustic effect, refined and applied to biological problems. Nijmegen: Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen, 1988.
 Voesenek LACJ, Blom CWPM. Growth responses of *Rumex* species in relation to submergence and ethylene. Plant, Cell and Environment 1989; 12, 433-439.
 Woltering EJ, Harren FJM, Boerrigter HAM. Use of a laser-driven photoacoustic detection system for measurements of ethylene production in *Cymbidium* flowers. Plant Physiology 1988; 88, 506-510.
 Yang SF, Hoffman NE. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. Annual Review of Plant Physiology 1984; 35, 155-189.

Bronvermelding illustraties

Alle afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.





DE POSTCODE CODE

SORTEREN OP STREPEN

De postcode, gebruik hem goed. Maar hoe gebruiken de posterijen de code bij de automatische sortering van post? Tijdens de automatische verwerking van poststukken lezen machines de postcode en zetten ze die om in een binaire code. Aan de hand van deze code vindt de uiteindelijke sortering plaats. Sommige poststukken ontlopen door hun afmeting de sorteermachines en vinden handmatig hun weg naar hun bestemming. De ontvanger kan dit aan de envelop zien: de mysterieuze rij van verticale rode streepjes rechtsonder het adres ontbreekt.

Th.C.C.M. Snellen
P.C. van der Kraan
PTT Research

W.A. Klein
PTT Post

De sorteervakken waarin de brieven uiteindelijk te rechtkomen nemen het grootste deel van de automatische sorteermachine in beslag.

Tussen 1983 en 1988 werd een belangrijk deel van de postsortering in Nederland geautomatiseerd. Deze automatisering vormde het sluitstuk van een complex van maatregelen om het sterk groeiende postverkeer verwerkbaar te houden. In 1979 bedroeg het aanbod van poststukken in Nederland nog 12 miljoen per dag. Nu biedt men dagelijks al 17 miljoen poststukken ter verzending aan. Om bij dergelijke hoeveelheden de slogan "Vandaag gePOST, morgen bezorgd" nog waar te kunnen maken introduceerde het postbedrijf de postcode. Dit maakte efficiëntere handsorteersystemen en ook machinale sortering van post mogelijk. Maar een geautomatiseerde verwerking van de post vond nog niet direct plaats. Aan de invoering van de automatische postsortering ging een periode van onderzoek en praktijkproeven vooraf teneinde een goed systeem en bruikbare technieken en hulpmiddelen te ontwikkelen. Alvorens nader in te gaan op deze technieken, met als rode draad het voor de sortering gebruikte rode-streepjespatroon, komt kort het hele systeem voor automatische postsortering aan de orde.

De automatische sortering van post is in Nederland geconcentreerd op twaalf expedietieknooppunten. De post afkomstig uit het verzorgingsgebied van zo'n knooppunt wordt met behulp van machines gesorteerd in ongeveer 190 'richtingen'. Dit heet de *expeditiesorting*. Elk van de 190 richtingen omvat een verzameling van bestemmingen – een aantal dorpen, of enkele wijken van een grote stad. Vervolgens vindt de uitwisseling van de aldus gesorteerde post plaats, waarbij elk expedietieknooppunt de post ontvangt waarvan de eindbestemming binnen zijn verzorgingsgebied ligt. Daarna vindt de *ontvangstsortering* plaats: dezelfde machines sorteren de ontvangen post, maar nu in gedeelten van wijken en dorpen die een postbode tijdens zijn of haar rondgang zal aandoen. Vervolgens wordt de post bij de bestelkantoren afgeleverd, waar de postbode de post nog met de hand op straat en huisnummervolgorde zet.

Aan de automatische sortering bij de expedietieknooppunten gaat een aantal bewerkingen vooraf. De machines kunnen niet alle formaten post verwerken. Daarom wordt eerst de post geschift in wel en niet machinaal te sorteren post. Ook moeten de poststukken worden *opgezet*, dat wil zeggen in dezelfde stand ge-



1

1 en 2. De schift-opzetstempelmachine pikt uit de aangevoerde, ongeordende post de machinaal verwerkbare brieven, zet deze achter elkaar met de

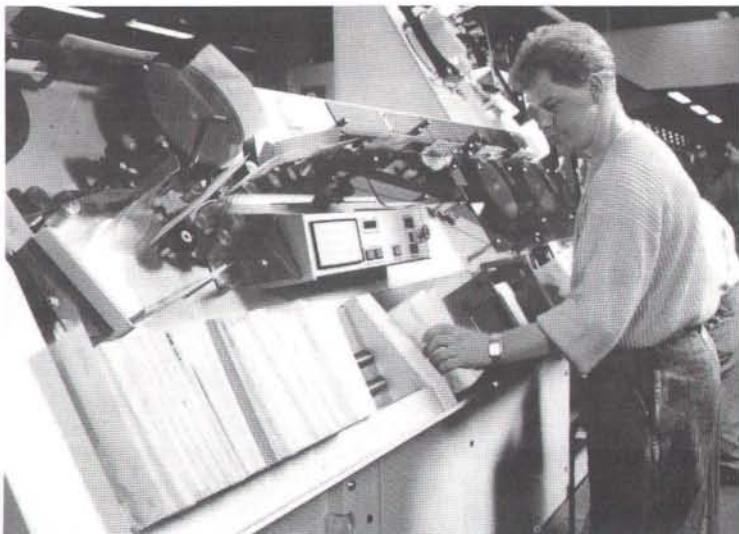
plaats met de adreszijde naar voren en de frankering rechtsboven, en de postzegels gestempeld. Voor deze bewerkingen maakt men gebruik van de zogenaamde schift-opzetstempelmachines. De post uit de rode brievenbussen verdwijnt als een ongeordende massa deze machine in en de machinaal verwerkbare post komt er opgezet en gestempeld uit, terwijl de niet machinaal verwerkbare post via een transportband naar de handmatige verwerking gaat. Voor het opzetten van de post maakt de machine gebruik van de eigenschap dat postzegelpapier kan fosforesceren. Grote klanten, die hun post niet in de rode brievenbussen deponeerden, leveren hun post opgezet aan. Ook de lokettisten zetten de post al op wanneer die hen wordt aangeboden. Deze post splitsen ze direct met de hand in wel en niet machinegeschikt. Vervolgens wordt alle post met behulp van de postcode gesorteerd.

De postcode

Bij elke sorteerbewerking, of die met de hand of machinaal gebeurt, moet de adresinformatie van het poststuk worden vastgesteld. Bij het sorteren van post speelt de postcode hierin een centrale rol. Deze, in Nederland uit vier



postzegel rechtsboven en stempelt ze af (1). Poststukken met een index kan



2

de sorteermachine verwerken (2). Vanaf de afnemer (linksonder) gaan brieven

via het leesstation naar de, hier aan het zicht ontrokken sorteervakken.

cijfers en twee letters bestaande code is het sorteergegeven bij PTT-Post. Maar hoe wordt deze code eigenlijk gebruikt? Voorafgaand aan het sorteren zelf wordt de postcode omgezet in een digitale code; de zogenaamde *index* (zie Intermezzo I). Deze index omvat 22 tot 24 rode streepjes die opvallend, rechts onderaan op het poststuk komen te staan. Het zijn deze streepjes die de sorteermachine leest. Ze bepalen de richting waarin het poststuk wordt gestuurd.

De *afnemer* van de sorteermachine voert de brieven met de rode streepjescode één voor één in (afb. 2). De enveloppen passeren vervolgens een *indexleesstation* en belanden uiteindelijk in één van de sorteervakken. PTT Research, het voormalige Dr Neher Laboratorium, moest deze machine zelf ontwikkelen. Er bestaan wel sorteersystemen, zoals in Japan, die postcodes of zelfs complete adressen kunnen herkennen. Maar dan moeten de postcodes zeer netjes met de hand zijn geschreven of de adressen in machineschrift van goede kwaliteit op de envelop staan vermeld.

Anders dan in landen als China of Rusland is onder andere in Nederland en België de diversiteit in de poststukken erg groot. Briefkaarten van allerlei afmetingen en enveloppen

in diverse kleuren en formaten, met of zonder venster, reclame-opdruk of bedrijfsvignet moeten de sorteermachines passeren. Deze diversiteit maakt het automatisch lezen van het adres soms erg moeilijk. Wat ze echter, op een enkele uitzondering na, gemeen hebben is de frankering rechtsboven en het adres met een postcode. Met grote klanten maakt het postbedrijf afspraken over onder meer de soort enveloppen en de plaats van het adres. Bovendien wordt het voor bedrijven steeds gebruikelijker adressen in machineschrift aan te brengen. Kortom, bij de automatische postsortering dient de postzegel als richtpunt bij het opzetten en de postcode als informatiebron voor de bestemming. Maar laten we de technische gang tussen het opzetten en de eigenlijke sortering eens nader bekijken.

Van postcode naar index

Alvorens de opgezette poststukken de sorteermachine ingaan krijgen ze het rode streepjespatroon van de index opgedrukt. Het aanbrengen van de postcodegegevens in deze vorm vindt plaats met behulp van automatische lees-en indexeermachines, handindexeermachines en videocodeersystemen.

Postcode als index

Alle postcodes in Nederland bestaan uit vier cijfers gevuld door twee letters, waarbij de letters F, I, O, Q, U en Y niet meedoen om verwarring bij het lezen te voorkomen. Via een codesleutel worden de karakters omgezet in een binair getal van vijf bits (0 of 1, zie tabel I-1). Merk op dat de tien cijfers overeenkomstige codes hebben met tien van de twintig gebruikte letters. Omdat de plaats van letters en cijfers binnen de postcode vaststaat, is dit geen bezwaar. Voor de cijfers geldt dat in hun binaire codes altijd drie van de vijf bits een 1 is. De codes voor de letters hebben twee of drie enen. Deze kenmerken dienen om leesfouten op te sporen. Door bijvoorbeeld het aantal streepjes in de code te tellen kan worden gecontroleerd of er van een juiste code sprake is.

Aan het begin van elke binaire code voor een letter of cijfer zet de machine vervolgens een 1 als *startbit*. Op deze manier blijft het aantal opeenvolgende nullen beperkt tot maximaal drie, wat later weer de nauwkeurigheid vergroot bij het leesproces. De post-

code leidt dus tot een codewoord van 36 bits. Dit bitpatroon wordt, vanwege de transportrichting van de poststukken langs de leeskop, van rechts naar links op het poststuk aangebracht in de vorm van strepen en spaties. Een streep geeft daarbij een 1 weer, terwijl een spatie op een 0 duidt.

Bijvoorbeeld:

Postcode	1	2	3	4	A	B
Coderen	01011	01101	01110	10011	00011	01011
Met Start-bits	101011	101101	101110	110011	100011	101011
Omgekeerd op brief	110101	110001	110011	011101	101101	110101
Index						

Voor de categorie zonder postcode wordt een speciale index gebruikt en overeenkomstig internationale afspraken krijgt post bestemd voor het buitenland geen index. Extra streepjes links van de index of enkele karakters boven de index dienen ter identificatie van de gebruikte codeerapparatuur.

Automatische lees- en indexeermachine

Poststukken met een adres in machineschrift zijn geschikt voor automatische indexering en worden in bakken getransporteerd naar een automatische lees- en indexeermachine. Daar zetten postbeamten ze in de afnemer, die ze één voor één het transporttraject instuurt. In een razend tempo, 9 stuks per seconde, registreert een soort videocamera de poststukken. Met behulp van twee sterke lampen en een lenzenstelsel bouwt een halfgeleider sensor een pixelbeeld op van het adresgedeelte van het poststuk.

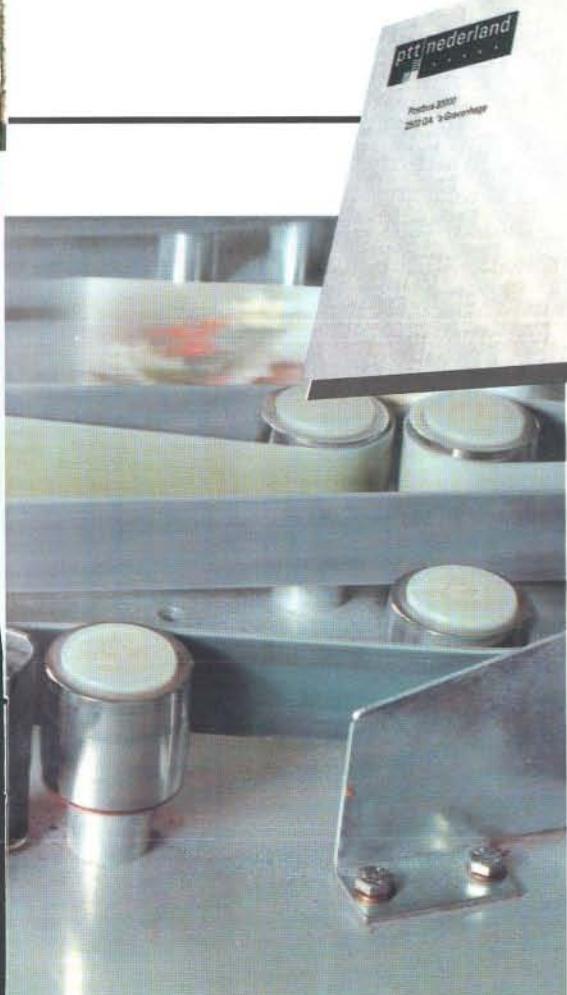
Dit grijswaardenbeeld ondergaat een aantal voorbewerkingen. Afhankelijk van de grijswaarden klassificeert het elektronische circuit de pixels als 'achtergrond' of als 'opdruk'. Vervolgens vergelijkt het systeem de uit de 'opdruk-pixels' opgebouwde vormen met een standaardpatroon. Na te zijn herkend krijgen afzonderlijke karakters een binaire code en worden ze opgeslagen in het geheugen. Samenstelling van de herkende karakters levert plaats- en straatnaam, huisnummer en postcode op. Aan de hand van een in het geheugen opgeslagen postcodeboek controleert de machine de combinatie. Pas hierna brengt die de index op het poststuk aan.



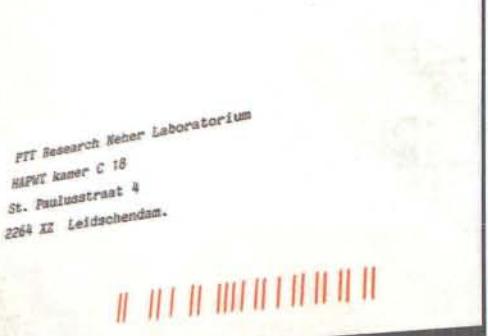
INTERMEZZO I ■■■

Tabel I-1 De codeertabel voor de index

Letters		Cijfers
A 00011	M 01010	0 00111
B 01011	N 11001	1 01011
C 01101	P 11010	2 01101
D 01110	R 11100	3 01110
E 00101	S 01100	4 10011
G 00110	T 10001	5 10101
H 10011	V 10010	6 10110
J 10101	W 00111	7 11001
K 10110	X 10100	8 11010
L 01001	Z 11000	9 11100



Deze bewerkingen nemen nogal wat tijd in beslag (ongeveer 4 seconden). Daarom is in de machine een lang traject ingebouwd tussen het lezen en het indexeren. Dit brengt met zich mee dat er 36 poststukken tegelijk op dezelfde machine in behandeling zijn. Het aanbrengen van de index gebeurt met behulp van een inkt-spuitkop (*inkjet*) die voor iedere verticale indexstreep zeven druppeltjes sputt. Hierna belanden de poststukken via een zogenaamde *stapelaar* weer in rode bakken voor verder transport en verwerking.



4

3 en 4. Terwijl poststukken met 3 m.s^{-1} voorbij snellen, spuit de inkjet, die voor iedere indexstreep zeven druppeltjes fluorescerende, oranje inkt gebruikt, de index op de envelop. Dat gebeurt van

rechts naar links omdat straks het indexleesstation van de sorteermachine eerst de rechter kant van de envelop ziet. De index staat dus achtersteven op de envelop afgebeeld (4).

De handindexeermachine

Poststukken voorzien van handgeschreven adressen en in machineschrift geadresseerde stukken die de automatische lees- en indexeer-machine niet heeft kunnen lezen, gaan naar de hand-codeerafdeling. Hier zitten enkele mensen achter hun eigen *codeermeubel*. Zij lezen van de poststukken, aangevoerd in bakken, één voor één de postcode, toetsen die in op een speciaal toetsenbord en werpen het poststuk in een gleuf. Een mechanisch transportsysteem voert het poststuk langs een *indexschrijver* die

de index op het poststuk aanbrengt. Verder transport doet het poststuk in een stapelaar belanden. De afvoer van poststukken vindt weer in bakken plaats.

Als alternatief voor de 'dure' inkjetprinter ontwikkelde het postbedrijf een speciale indexschrijver. Via 36 spoelen bedient dit apparaat 36 pennen die een mechanisch gestuurde schrijfbeweging uitvoeren en via een breed inktlint de streepjes van de index op het poststuk aanbrengen. De indexschrijver is zo uitgevoerd dat, met het oog op een ongelijke vulling van de enveloppen, de pennen tijdens hun schrijfbeweging oneffenheden van een poststuk kunnen volgen. Zolang de pennen schrijven, staat het poststuk stil. Het stoppen en verder laten gaan van een poststuk kost tijd maar omdat de machine de gehele index in één keer opschrijft, verloopt de verwerking van het ene poststuk snel genoeg om die van het volgende poststuk niet op te houden.

Het videocodeersysteem

Een andere vorm van handindexeren, het zogenaamde *videocodeeren*, bevindt zich nog in een experimenteel stadium. Momenteel wor-

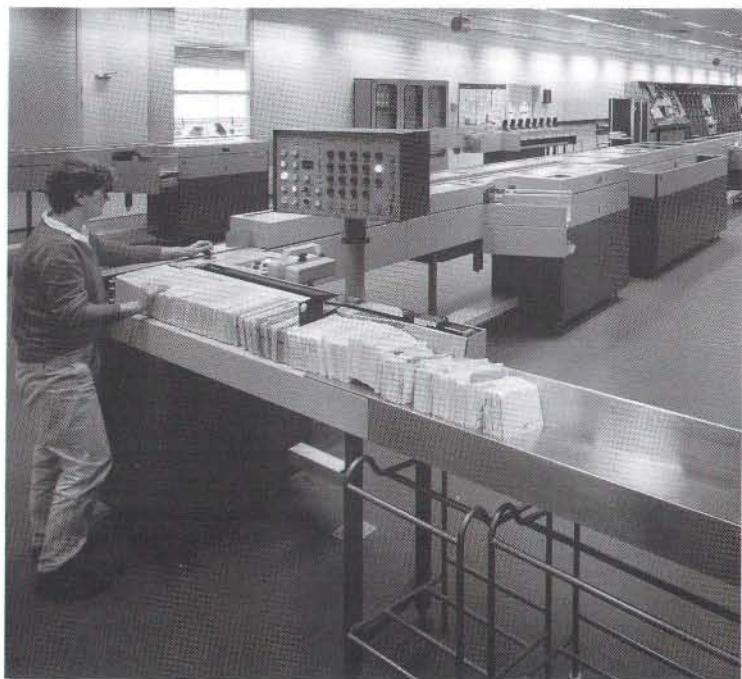
den praktijkproeven gedaan in het postverwerkingscentrum te Roosendaal (NBr). In plaats van het poststuk zelf krijgen de mensen hier een (video)beeld van de brief te zien. De postcode dienen zij nog wel te lezen en in te toetsen, maar ze hoeven de poststukken niet meer op te pakken en in de gleuf te werpen, of de bakken te verplaatsen. Ook hier brengt een inkjetprinter de index aan.

Leeskop en detectie

De poststukken, voorzien van een index, gaan vervolgens naar de sorteermachines. De indexeerapparatuur en de sorteermachines staan los van elkaar opgesteld omdat de sorteermachines na de te verzenden ook de binnenkomende poststukken verwerken. Deze dragen al het rode-streepjespatroon. De hierboven beschreven gang van zaken rond het aanbrengen van de index speelt zich alleen bij de uitgaande post af.

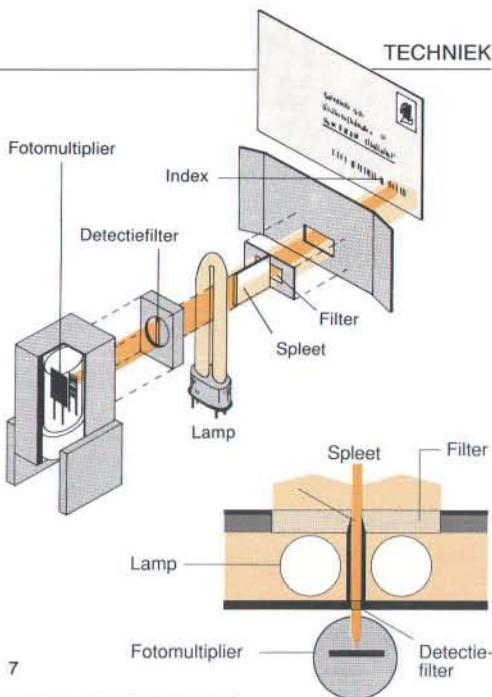
Bij de machinale sortering moet het lezen van de index foutloos geschieden. Dit hangt onder meer af van de inkt waarmee de index gedrukt staat. In tegenstelling tot de zwarte

5 en 6. In zowel de automatische lees- en indexeermachine (5), als de videocodeermachine (6) brengt een inkjet de index aan. Bij het nog in de experimentele fase verkerende videocodeersysteem komen telkens twee brieven in beeld. Wanneer de persoon aan het codeermeubel de postcode van de onderste brief in-toetst dan verschuift de bovenste brief naar het onderste scherm en komt boven weer een nieuwe brief in beeld.

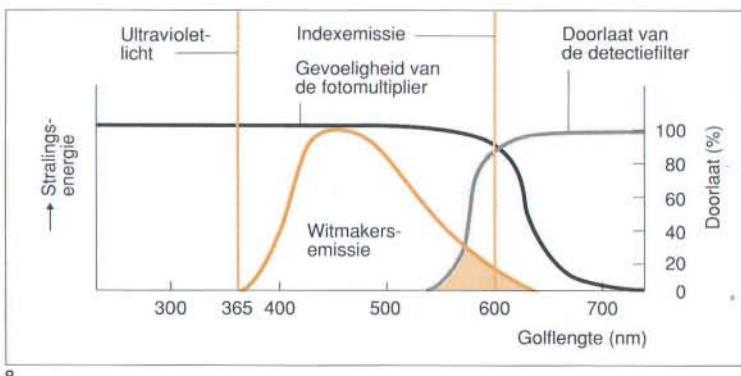




6



7



8

7 en 8. De leeskoplamp bestaat de index waarna, via een smalle spleet en een detectiefilter, de fluorescente straling op de fotomultiplier komt, die het signaal in de vorm van een spanning doorgeeft aan de detector (7). Witmakers in de envelop zenden licht rond de 600 nm uit, zodat, samen met het indexsignaal, hun emissie voor een deel het detectiefilter passeert.

inkt voor de streepjescode op de verpakking van bijvoorbeeld levensmiddelen of gebruiksvoorwerpen heeft men voor de index een fluorescerende inkt gekozen. Onder een lamp die ultraviolet licht uitzendt, gloeien de onder normale belichting onopvallende indexstreepjes helder op en geven ze een redelijk signaal. Op basis van dit principe werkt het systeem dat de index registreert.

Een *leeskop* in de sorteermachines wekt het indexsignaal op, versterkt dat en geeft het door naar een *detector*. Het transportsysteem van de sorteermachine voert de poststukken opgezet langs de leeskop. De leeskop neemt als een videocamera met behulp van lampen, optische elementen en lichtgevoelige sensoren een

beeld van de index op en zet dit om in elektrisch signaal. De fluorescerende-eigenschappen van de index-inkt worden ten volle benut doordat in de leeskop optische filters en sensoren die alleen licht met een golflengte van de fluorescerende straling registreren, zijn toegepast (afb. 7 en 8). De fotomultiplier van de leeskop versterkt het elektrische signaal dat vervolgens door de detector wordt vertaald. Deze rekent de streepjescode weer om naar de postcode en levert die af aan het besturingssysteem van de sorteermachine. Die beslist in welk vakje de betreffende postcode – en dus ook het poststuk – thuiskomt. Dit alles gebeurt met een snelheid van 8 poststukken per seconde. De poststukken zelf gaan met een snelheid van



9

3 m.s^{-1} door de machine heen. De tijd tussen het opnemen van het beeld en de eerste transportwissel – waar de postcode bekend moet zijn – bedraagt slechts 50 ms.

Leesproblemen

De variatie in aangeboden poststukken is erg groot, zeker wat betreft de eigenschappen die bij het index-aanbrengen en -teruglezen een rol spelen. Behalve de in het oog springende eigenschappen als de afmeting en de kleur behoren daartoe ook het vloeistofabsorberend vermogen, de ruwheid en de vezeligheid van het papier en het voorkomen van zogenaamde *witmakers*. Deze witmakers zijn veelal optisch actieve stoffen, die bij de fabricage aan het papier zijn toegevoegd om het witter te doen lijken. De kleur en vooral de witmakers veroorzaken bij het lezen grote variaties in het indexsignaal (afb. 11). Bij het aanbrengen van de index kunnen ook problemen ontstaan. Op zeer glad papier droogt de inkt te langzaam of vloeit het uit met het vervelende gevolg dat de index versmeert. Om die reden moet het gebruik van geplastificeerde of plastic enveloppen worden afgeraden. Heel ruw papier laat zich eveneens nauwelijks bedrukken.



10

9 en 10. Met de hand indeexeert men poststukken waarop voor machines moeilijk leesbare adressen staan. Na intoetsen van de postcode stopt de typist de

brief met de voorkant naar beneden in de gleuf van het codeermeubel. Via deze opening gaat de brief naar de indexschrijver die de streepjes aanbrengt.

Detectieprincipes

De detector moet een oplossing bieden voor het volgende probleem: hoe de informatie te verkrijgen uit het analoge signaal dat de fotomultiplier produceert? Bij de oplossing van het probleem moet rekening worden gehouden met zowel de eigenschappen van het signaal als de codeerwijze. De variaties tussen de indexsignalen onderling en soms binnen één indexsignaal zijn erg groot (afb. II-1). Bovendien schrijft de codeerwijze (zie Intermezzo I) voor, dat de detector geen enkel van een streep afkomstig signaal mist en geen enkel signaal dat een spatie aanduidt, voor een streep aanziet. Tevens moet een en ander 'real time' gebeuren. Reeds na 50 ms moeten beslissingen worden genomen, gebaseerd op de uitkomst van de detectie. De detector krijgt het analoge fotomultipliersignaal van de leeskop aangeleverd en dient de postcode, in digitale vorm, op te leveren. Hiervoor zijn twee mogelijkheden namelijk de analoge detector, die werkt volgens het principe van *signaaldrempeling*, en de digitale detector, die gebaseerd is op *vormherkenning*.

Analoge detector

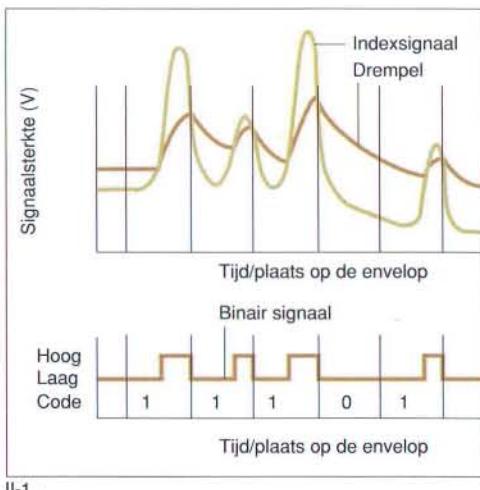
De analoge detector bezit een elektronisch circuit dat eerst het fotomultipliersignaal afkomstig van de eerste 20 mm van het poststuk registreert. Dat gedeelte bevat nog geen streepje van de index en levert als het ware een achtergrondsignaal. Dat signaal dient om een drempel te genereren, die nodig is voor het detecteren van de eerste indexstreep. Indien het fotomultipliersignaal deze drempel overstijgt, wordt het uitgaande signaal 'hoog' anders blijft het 'laag' (afb. II-1). Bij het verdere verloop van de detectie wordt de drempel voortdurend (dynamisch) aangepast aan het signaal van de fotomultiplier. Een elektronische schakeling zorgt ervoor dat de drempel steeds tussen de minima (de achtergrondwaarden) en de maxima (de topwaarden) van het fotomultipliersignaal blijft. Zodra bij een streep het signaal toeneemt en de drempelwaarde overschrijdt dan stijgt de drempel met het signaal mee, maar minder snel. De drempel zakt weer zodra het signaal, na de topwaarde te hebben bereikt, weer daaronder schiet. Ook nu verandert de drempelwaarde minder snel dan het signaal. Wanneer het fotomultipliersignaal niet te snel verloopt, kan de drempelwaarde dat signaal goed volgen.

In het binaire signaal van de indexcode zitten gedeeltes die de strepen (de enen) en de spaties (de nullen) weergeven. De strepen zijn in het indexsignaal goed te herkennen. Voor de spaties is dit lastiger. Zeker bij een opeenvolging van spaties is, vanwege mogelijk optredende variaties in de briefsnelheid, het aantal ervan niet eenvoudig af te leiden uit de

verstreken tijd. Daarom berekent het circuit de gemiddelde tijdsduur die ligt tussen opeenvolgende pieken aan de hand van hun neergaande signalen, ook wel aangeduid als de *achterflanken*. Omdat het signaal afkomstig van een spatie geen piek en dus ook geen achterflank bevat, concludeert het circuit dat er een spatie in de index zit wanneer het langer dan gemiddeld duurt voor een volgende piek zich aandient. Deze *synchronisatie* kan 'uit de pas' gaan lopen bij veel opeenvolgende spaties. Dit is de reden dat er slechts maximaal drie nullen na elkaar kunnen komen in de gekozen codering voor de index (zie Intermezzo I).

Digitale detector

De digitale detector werkt volgens een heel ander principe dan de analoge detector. Het apparaat beoordeelt met een frequentie van 43 kHz het analoge signaal en quantiseert dit met een stapgrootte van 15 mV. Per indexstreep of spatie slaat de detector ongeveer 23 spanningswaarden in een geheugen op, waaruit ze later weer zijn op te roepen.



II-1

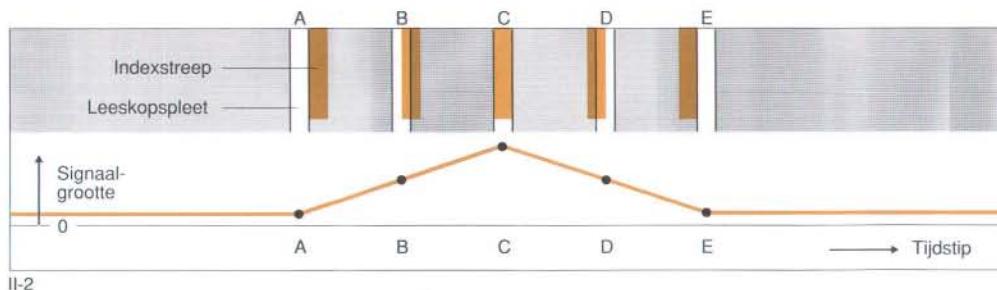
II-1 De analoge detector vergelijkt het indexsignaal voortdurend met een drempelwaarde en registreert een waarde 'hoog' wanneer het indexsignaal boven de drempel uitsteekt, wat in het binaire signaal als '1' tot uiting komt.

Uit onderzoek is gebleken dat, door de fysische eigenschappen van het systeem, zoals de optica van de leeskop en de eigenschappen van papier en inkt, de signaalopwaarde op een bepaalde manier afhangt van de signaalachtergrondwaarde. Deze afhankelijkheid is door middel van een tabel in de detector opgenomen. De basisdrempel wordt met behulp van de tabel gegenereerd aan de hand van monsters van de eerste 20 mm van het poststuk. De eerste potentiële streep vindt de detector door het geheugen in grove stappen van 7 monsters te doorlopen totdat die een monster aantreft dat boven de eerder bepaalde drempel uitsteekt. Vervolgens bekijkt de detector in kleine stappjes een gebiedje rondom dit monster om zo het signaalmaximum te vinden.

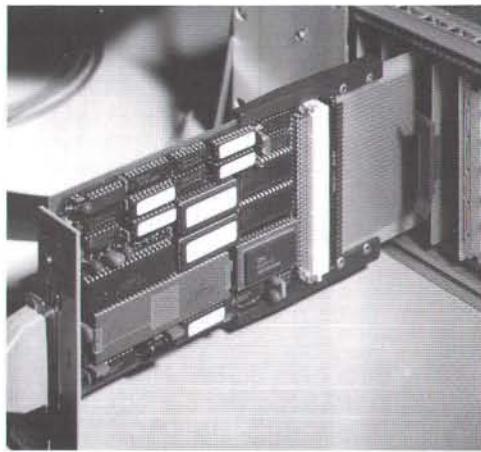
Het maximum, dat een potentiële streep aanduidt, en de aan weerszijden liggende minima, die de achtergrond vertegenwoordigen, dienen om het signaal uiteindelijk te klassificeren in een spatie of een streep. De vorm van de signalen speelt hierin een be-

langrijke rol. Deze vorm hangt samen met de kijkspreektafmetingen en de afmetingen van de ideale indexstreep. Afbeelding II-2 laat zien dat de signaalvorm driehoekig is omdat de kijkspleet van de leeskop even breed is als een indexstreep.

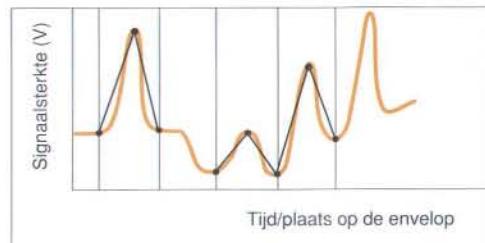
Synchronisatie vindt plaats met behulp van de maxima van de gevonden strepen. Het zoekwerk, dat wil zeggen het aantal stappen om het volgende maximum te vinden, wordt hierdoor beperkt. Een belangrijk verschil tussen de digitale- en de analoge detector is dat van het fotomultipliersignaal, dankzij bemonstering en opslag, de signaalwaarden beschikbaar blijven, zodat de digitale detector het signaal van één index in zijn geheel kan bekijken. Een optimale instelling, aangepast aan de fysische eigenschappen van de post, is gemakkelijk te verwezenlijken. Elke streep wordt ten opzichte van zijn eigen achtergrond gedetecteerd. De detector is dus minder gevoelig voor variaties in het achtergrondsignaal dan zijn analoge tegenhanger.



II-2



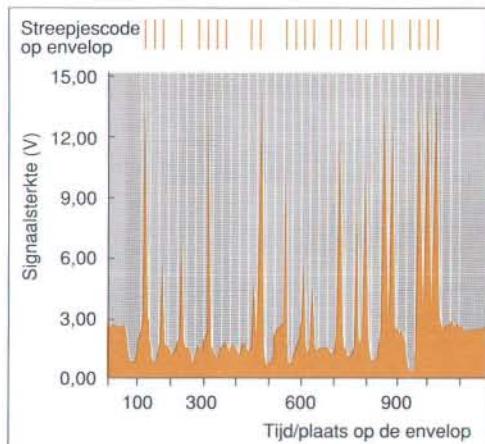
II-3



II-4

II-2 t/m II-4. De digitale detector: samengevoegd op een insteekkaart herkennen de analoog/digitaal-omzetter, de processor en het geheugen de vorm van het indexsignaal. Vanwe-

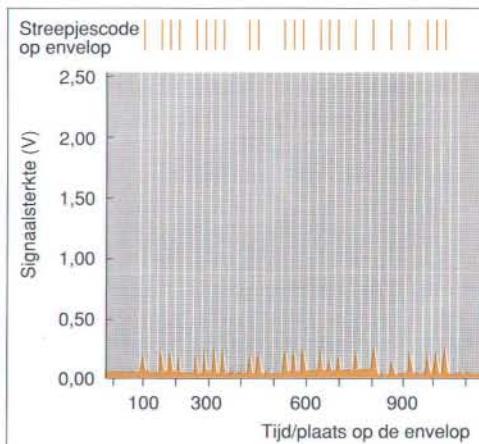
ge haar driehoeksvorm (II-2) geldt de tweede piek in II-4 als een streep. Een analoge detector mist die omdat door opdruk het achtergrondsignaal plotseling inzakte.



11

11 en 12. Door witmakers in het papier neemt het indexsignaal enorm toe. Achtergrondbedrukkingen

beïnvloeden dit effect, wat leesfouten aanleiding kan geven (11). Aangebracht op een gewone,



12

brown envelope geeft de index slechts een relatief zwak, maar nauwkeurig signaal af (12).

Elk streepje in de index moet correct worden gelezen en gedetecteerd om de postcode terug te vinden. Mogelijkheden voor het corrigeren van leesfouten zoals toegepast bij de CD-techniek, worden hier niet gebruikt. De informatie die de compactplaatjes bevatten ligt besloten in zogenaamde *zelf-corrigerende codes*, dat wil zeggen in codes met zeer veel redundantie. Wil de index uit zo'n code bestaan, dan neemt die veel meer plaats in op de envelop.

De juiste herkenning van een index die op gekleurd, of helwit papier met opdruk staat, stelt de detector voor problemen. De kleur van het papier bepaalt grotendeels in welke mate het papier de golflengtes die de lamp van de leeskoplamp uitzendt, reflecteert en absorbeert. Witmakers in het papier versturen deze karakteristieken. Door het ultraviolette licht van de leeskoplamp worden de witmakers extra geactiveerd. Bijgevolg zendt wit papier een zeer sterk signaal uit en komt de fluorescerende index op zo'n ondergrond enorm versterkt over. Op die plaatsen waar de index echter een (reclame-)opdruk bedekt, die dus de indexinkt van het witte papier scheidt, vindt deze versterking niet plaats en stijgt een eventueel signaal van een indexstreep niet boven het 'achtergrondsignaal' uit dat het naburige wit opwekt (afb. II-4 en 11). Om zulke fouten te voorkomen bij het lezen van de index zou het postbe-

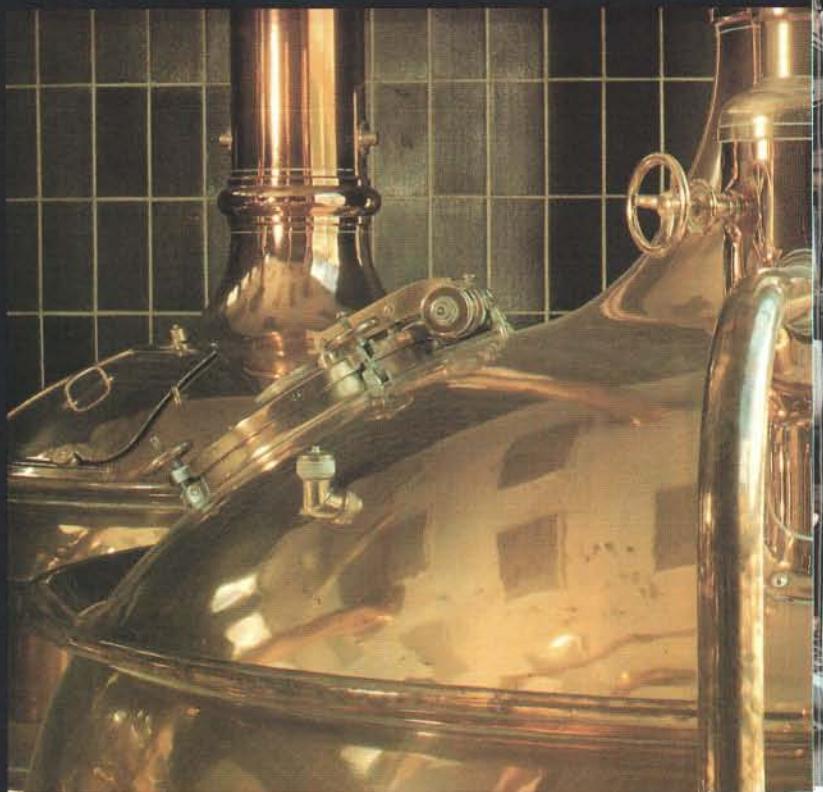
drijf het liefst zien, dat de *indexzone* van een envelop vrij blijft van bedrukking.

Ondanks de hierboven vermelde problemen slaagt het systeem er toch in ongeveer 99% van de aangeboden indexen goed te lezen. Zeker nu sinds kort bij alle sorteermachines van het postbedrijf de analoge detector vervangen is door een digitale versie, die volgens een geheel ander principe werkt (zie Intermezzo II). Door de postcode en het machinale sorteren neemt de verwerkingssnelheid van poststukken enorm toe. Ten behoeve van verdere rendementsverbeteringen verrichten medewerkers van PTT Research nader onderzoek aan diverse onderdelen van het geautomatiseerde sorteersysteem. Foutcorrigerende codes voor de index, het herkennen van handgeschreven postcodes en adressen, het opvoeren van de snelheid van diverse machines en het beter aanpassen van de werkplek voor de mensen in het systeem zijn de doelen die het postbedrijf zich stelt om ook straks te kunnen zeggen: "Vandaag gepost, morgen bezorgd."

Bronvermelding illustraties

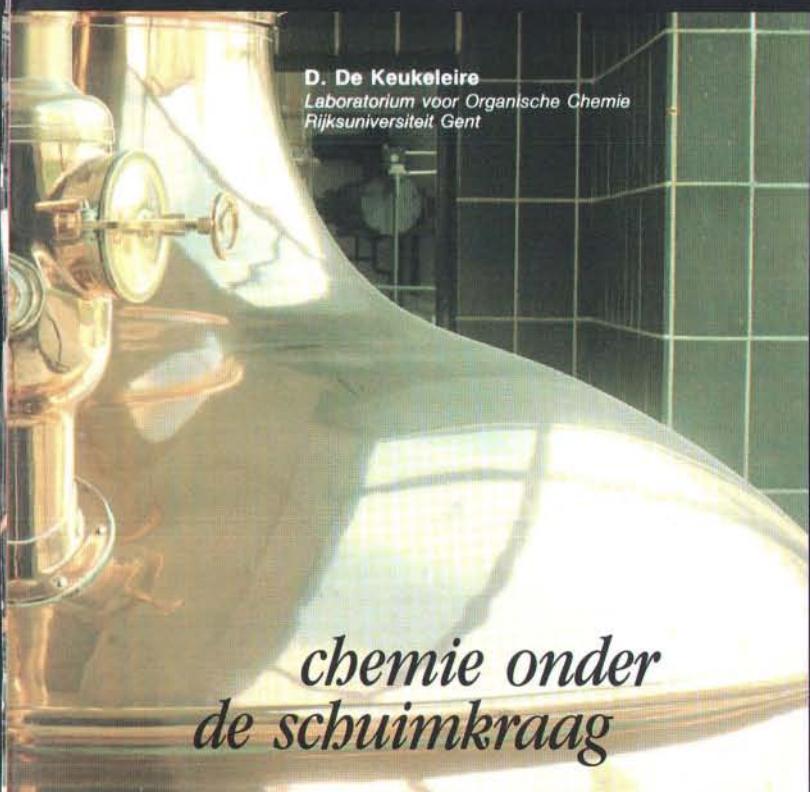
Alle illustraties zijn afkomstig van de PTT, met dank aan Jan Zandee uit Den Dungen (1 en 9).

mout + water +



Gedurende het brouwproces in koperen ketels gebeuren verschillende chemische omzettingen, waarvan de produkten uiteindelijk de smaak van het bier zullen bepalen. Weliswaar gebruiken steeds meer bierbrouwerijen ketels van roestvrijstaal, maar velen houden nog vast aan de traditie omdat koper een subtiele invloed op het brouwsel zou hebben.

hop $\xrightarrow{\text{gist}}$ bier



D. De Keukelaire
Laboratorium voor Organische Chemie
Rijksuniversiteit Gent

*chemie onder
de schuimkraag*

Door de hele levensduur van bier loopt een zeer complexe chemiedraad. Het brouwen van bier is pure biotechnologie. Daarbij ontwikkelen zich de smaak en het aroma, die we te danken hebben aan een fijn chemisch samenspel van bitterstoffen en geurcomponenten. Wie begrip heeft van de subtiele chemie die achter een glas bier schuilgaat, zal de biersmaak zeker meer appreëriën.

Het brouwen van bier is in essentie een biotechnologisch hoogstandje, dat reeds in Mesopotamië in primitieve vorm bestond. Het bier van toen was een gegist broodpapje, waaraan kruiden werden toegevoegd om de smaak te verbeteren. Vanaf de negende en tiende eeuw werd, door toedoen van de Vlaamse Benedictijn Arnaldus, hop gebruikt als (bittere) smaakmaker. Sindsdien is deze plant een noodzakelijke grondstof in de brouwerij, samen met gerst, water en gist.

1. Gelet op deze hiërogliefen, die een brouwende vrouwenviguur uitbeelden, vervaardigden Egyptenaren al bier.



Een proces van twee maanden

Aan het brouwen gaat het *mouten* vooraf. Mout is ontkiemde brouwgerst. De kiemende gerstekorrels maken enzymen, die in een later stadium zetmeel en eiwitten zullen splitsen. Het kiemp proces wordt stopgezet door het *eesten*, dit is het drogen van het mengsel met hete lucht. Naargelang de omstandigheden gedurende het eesten kunnen er diverse moutpoeders ontstaan – van zeer bleek mout tot donker gekaramelliseerd. De kleur van bier wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de mout, die ook een bijdrage levert aan de smaak. Overigens kopen de meeste brouwerijen mout(poeder) tegenwoordig kant en klaar.

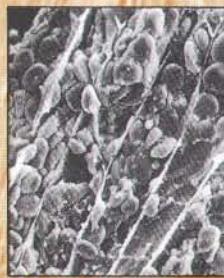
Na het mouten volgt het brouwen. De brouwer start een brouwcel door moutpoeder te mengen met water. Aangezien de chemische samenstelling van het brouwwater zeer specifiek is, moet de kwaliteit van het eigen bronwater soms worden aangepast. Verder is er moutpoeder nodig. Gezien de hoge prijs van het mout voegt de brouwer bij het maken van het beslag meestal andere zetmeelbronnen toe, zoals tarwe, mais of rijst, die minder kosten.

In het begin van het brouwproces wordt de temperatuur geleidelijk verhoogd tot 65 à 70°C. Daardoor worden de enzymen actief die de ma-

cromolekulaire biomolekülen, zoals polysacchariden en eiwitten, afbreken tot eenvoudige structuren. Daarop volgt een filtratie van het mengsel over het kaf van de gerst, dat aldus een natuurlijk filter vormt. Om die reden wordt voor het mouten gerst gebruikt – en geen andere graansoort. Het achterblijvende vaste materiaal vindt als veevoeder ruim aftrek. De resulterende vloeistof, die laagmolekulaire koolhydraten bevat, is *wort*. Deze zoetsmakende vloeistof wordt vervolgens overgebracht in koperen brouwketels en daarvan samen met hop-olie ongeveer 1,5 à 2 uur gekookt. Hierbij ontstaat de typische bittere smaak van bier, wordt verder het wort gesteriliseerd en gaan alle enzymen kapot.

Na afkoeling wordt het gehopte wort onderworpen aan een gistingproces. Gedurende de 'eerste' gisting worden ethanol en koolstofdioxide gevormd. Deze gisting stopt zodra de gistcellen door de gestegen ethanolconcentratie afsterven. De gist kan vervolgens worden verwijderd. 'Jongbier' bezit echter nog een onaangename geur en smaak door de aanwezigheid van zwavelhoudende aromacomponenten en door de typische botersmaak van acetyl. Deze verbindingen onstaan tijdens de fermentatie. Gewoonlijk moet dit jongbier een zestal weken worden bewaard of gelagerd bij lage temperatuur (de zo-

I-1 t/m I-3. Afhankelijk van de eestomstandigheden karamelliëerden deze 400 maal vergrote gerstekorrels weinig (I-1), gedeeltelijk (I-2) of volledig (I-3).



I-1



I-2



I-3

Een unieke samenstelling

De belangrijkste chemische reactie, die als een rode draad door het brouwproces loopt, is de omzetting van het beginsubstraat, zetmeel, tot ethanol en koolstofdioxide. Bepaalde enzymen in ontkiemende gerstekorrels splitsen het zetmeel, een polysaccharide, tot kleinere sacchariden: maltose en tenslotte glucose. Gistcellen zetten uiteindelijk, onder anaërobe omstandigheden, de glucosemolekülen om in

ethanol en koolstofdioxide. In de loop van het proces treden, naast deze omzetting, een groot aantal, vaak zeer complexe chemische reacties op (zie Intermezzo I).

Hoe bier eruit ziet en hoe het smaakt, wordt, zoals bij veel voedingsmiddelen, bepaald door een unieke combinatie van diverse chemische componenten. Door verschillen in chemische samenstelling bestaan er geen twee soorten bier die aan elkaar gelijk zijn. Voor bieren van hetzelfde type, zoals pilsbieren, be-

INTERMEZZO I

genaamde 'tweede gisting') tot het klaar is voor consumptie. Uiteindelijk wordt het eindproduct, bier, onder steriele omstandigheden gefilterd en afgevuld in flesjes, blikjes of vaten.

Bieren worden geklasseerd volgens de wijze, waarop de hoofdgisting verloopt. Zo behoren alle bestaande bieren slechts tot drie welomschreven klassen.

Bier van *lage gisting*, ook bekend als *ondergisting*, wordt verkregen door de werking van de gistsoort *Saccharomyces carlsbergensis*. Deze gist is actief bij lage temperatuur (ongeveer 5°C). Bij het einde van de gisting, ongeveer na een week, slaat de gist neer op de bodem van de gistingstank. Het bekendste bier van lage gisting heet pils, genoemd naar de Tsjechische stad Pilsen, waar het rond 1820 voor het eerst werd geïntroduceerd. Het ethanolgehalte van deze bieren bedraagt vijf volumeprocent.

Bier van *hoge gisting*, ook bekend als *boven-gisting*, ontstaat door fermentatie met behulp van de gistsoort *Saccharomyces cerevisiae*. Na enkele dagen gisten bij omgevingstemperatuur wordt de gist verzameld aan het oppervlak van de vloeistof. Deze speciale bieren (onder andere trappistenbieren, abdijbieren, witbieren, ales) zijn gewoonlijk sterker dan pilsbieren; ze bezitten een ethanolgehalte tussen vijf en negen volumeprocent.

Bier van *spontane* gisting wordt geproduceerd onder invloed van bacteriën en wildgisten, zoals *Brettanomyces bruxellensis* of *Brettanomyces lambicus*, die enkel voorkomen in de Zennevallei ten zuiden van Brussel. De gisting verloopt in eikenhouten vaten, soms gedurende meerdere jaren. Het resultaat is een zuursmakende vloeistof, lambik genaamd. Door menging van lambiks van verschillende ouderdom ontstaat geuze, een uniek Belgisch produkt.



2



3

2 en 3. Tijdens het mouten, dat ongeveer zeven dagen duurt, klemmen de gerstekorrels. Onder het buitenste omhulsel daarvan ontwikkelt zich een bladpluimpje. Zodra dit tot driekwart van de totale

korrelengte is gegroeid, wordt het mout gēest (3). Bij 50°C droogt het mout, terwijl het bij 85°C zijn kleur krijgt. Regelmäßig controleren brouwers de voortgang van het droog- en kleurproces.

rust het onderscheid in hoofdzaak op kwantitatieve verschillen: globaal genomen zijn dezelfde verbindingen aanwezig, doch in verschillende verhoudingen. Bieren, die niet tot hetzelfde type behoren, onderscheiden zich kwalitatief: de smaakvariatie van deze bieren hangt samen met de soorten verbindingen die we erin aantreffen. Tabel 1 geeft een representatieve samenstelling van pilsbier.

Wat valt er in het algemeen over deze samenstelling te zeggen? Uiteraard is de concentratie koolstofdioxide in bier hoog. Zeer opmerkelijk is verder het lage gehalte aan natrium, waardoor bier de aangewezen drank is voor personen die een natriumarm dieet moeten volgen. Wat betreft de energie-inhoud van bier valt op dat deze met een waarde van 470 kilocalorien of bijna 2000 kilojoule per deciliter, niet overdreven hoog is en zeker minder dan van vruchtesap, wijn of volle melk. De voornaamste jouleveranciers in bier zijn ethanol en suikers met energie-inhouden van, respectievelijk, 29 kJ.g^{-1} en 16 kJ.g^{-1} . Met alcoholarme ($< 0,6$ volumeprocent ethanol) en alcoholvrije bieren ($< 0,1$ volumeprocent ethanol) zijn we al een flink stuk op weg naar een gezondere drank. Bier wordt echter pas echt een dieetdrank als ook het suikergehalte drastisch wordt verlaagd, bijvoorbeeld tot minder dan 1 g.dL^{-1} . Tussen deze extremen zijn alle mogelijke variaties denkbaar.

Aromacomponenten

Een ander belangrijk bestanddeel van bieren vormen de aromacomponenten (afb. 5). Daartoe behoren allereerst de hogere alcoholen: butanol en pentanol. De giftigheid daarvan is veel hoger dan die van ethanol, zodat de 'kater' na een drinkpartij voor een deel kan worden toegeschreven aan de werking van deze hogere alcoholen. Ook een oxidatieproduct van ethanol – het zogenaamde ethanal, of aceetaldehyde – werkt in op pijncentra in de hersenen. Onverzadigde aldehyden zoals 2-nonenal en 5-methylfurfural zijn krachtige aromacomponenten, die eventueel het bier naar karton laten smaken.

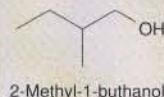
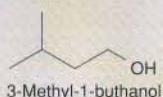
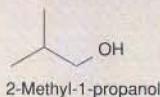
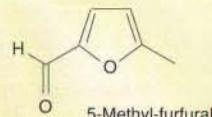
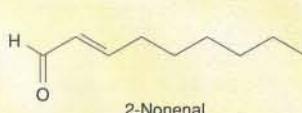
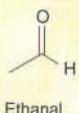
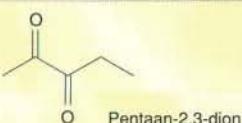
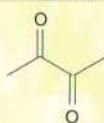
Vicinale diketonen zoals butaan-2,3-dion (diacetyl) en pentaan-2,3-dion, die tijdens de gisting worden gevormd, hebben een bijzonder negatieve invloed op de kwaliteit. De typische ranzige botersmaak van deze groep verbindingen verdwijnt langzamerhand gedurende de opslag, het *lageren*. Een brouwsel wordt dan ook pas vrijgegeven voor consumptie, zodra de hoeveelheid diacetyl beneden een bepaalde grenswaarde ligt.

Ook esters dragen bij tot het aromapatroon. De aangename fruitige smaak van bier valt toe te schrijven aan esters van hogere alcoholen. Maar wanneer de concentratie daarvan te hoog wordt, is dat noodlottig voor de smaak.

TABEL 1 De samenstelling van pilsbier (g.kg^{-1})

Water	920
Ethanol	40
Extract	40
Sacchariden	30
Koolstofdioxide	5
Aminozuren	1
Kalium	0,490
Fosfor	0,225
Magnesium	0,105
Hopderivaten	0,035
Calcium	0,035
Natrium	0,030
Vitamine B	0,010
Aromacomponenten	< 0,01



HOGERE ALCOHOLEN (foezelolie)**ALDEHYDEN****VICINALE DIKETONEN****ESTERS**

R = Karakteristieke groep afgeleid van hogere alcoholen

5



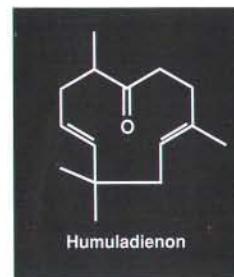
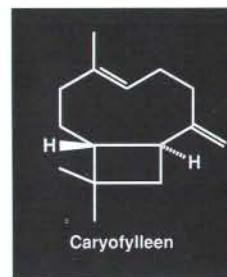
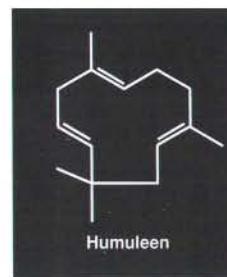
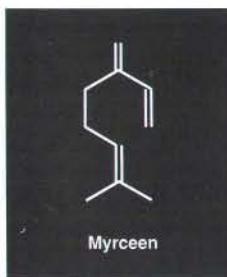
4. Hopbellen bevatten verschillende verbindingen die bier zijn karakteristieke bittere smaak geven.

5. In bier komen diverse aromacomponenten voor. Vicinale diketonen, zoals butaan-2,3-dion, doen vers gebrouwen bier naar ranzige boter smaken, maar verdwijnen langzaam tijdens de opslag.

Hop, liefst vrouwelijk

Het unieke kenmerk van bier is de aanwezigheid van ongeveer 35 ppm (parts per million ofwel milligram per kilogram) hopbestanddelen. Hop (*Humulus lupulus*) wordt verbouwd in gebieden met een gematigd klimaat om aan de behoeften van de brouwindustrie te kunnen voldoen. Als zodanig is hop een plant met economische waarde. Afhankelijk van de kwaliteit kost één kilogram gedroogde hop tussen de vier en de tien Amerikaanse dollar.

De gemiddelde samenstelling van hop is zeer specifiek (tabel 2). De uit de plant gewonnen olie bestaat onder andere uit apolare terpenen (afb. 6). Deze zijn verantwoordelijk voor de karakteristieke hopgeur, die vooral in de plukmaand september rond de hopvelden hangt. De meeste verbindingen met koolwaterstofka-



6

6. Boven de hopvelden hangt in de plukmaand september een karakteristieke geur dankzij de verdamping van deze apo-

laire terpenen. Deze stoffen vervluchten voor het merendeel tijdens het koken van het wort.

7. De schuimkraag van bier in een vetvrij glas zakt in, doordat gas uit het schuim naar de atmosfeer ontsnapt. Indien het glas

vuil is, of van buiten vettige deeltjes in het glas belanden, blijft het schuim helemaal niet in stand.

rakter verdampen gedurende het koken van het *wort*, de zoete vloeistof die bij het moutproces ontstaat, zodat ze niet zijn terug te vinden in bier. Daarentegen dragen oxidatieprodukten die een hoger kookpunt en een betere oplosbaarheid in water bezitten, zoals humuladienon, wel degelijk bij tot het aroma van een glas bier.

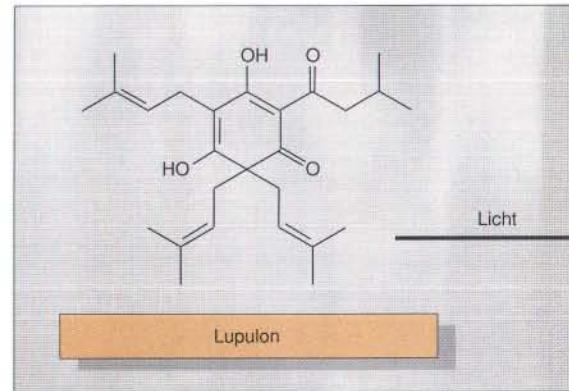
Hop bevat een bonte samenstelling aan fenolen. Er komen niet alleen monomeren in voor, maar ook ingewikkelde, meestal gekleurde, polyfenolen. Deze zijn het resultaat van polycondensatieprocessen die in de loop van het brouwproces optreden. Van deze polyfenolen is vooral xanthohumol biologisch zeer actief doordat het inwerkt op de vrouwelijke hormonale cyclus. Dit gaat gepaard met ontre-

geling van de menstruatie en opzwelling van de borsten. Daarom wordt deze verbinding wel het hophormoon genoemd. Xanthohumol is dan ook het hoofdbestanddeel van hopextracten die als kosmetisch preparaat in de handel worden gebracht.

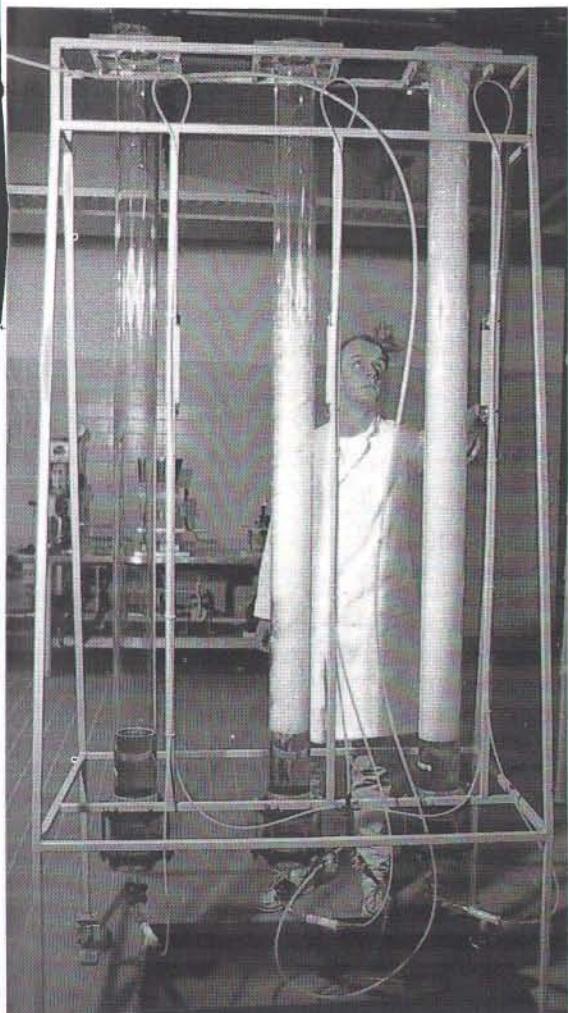
De concentraties vetzuren en oliën variëren van sporehoeveelheden tot 25%. Het gehalte heeft te maken met het geslacht van de hopplant. Vooral de mannelijke hopplant is rijk aan vetten en vetzuren. Deze hebben een storende invloed op het bierschuim. In veel West-Europese landen mogen dan ook alleen maar vrouwelijke hopplanten worden verbouwd en is de aanwezigheid van mannelijke hop wettelijk verboden. Daarom moet het vermenigvuldigen hier ongeslachtelijk verlopen, namelijk

TABEL 2 De samenstelling van hop (g.kg⁻¹)

Eiwitten	150
Humulonen	20-120
Lupulonen	20-100
Water	80-120
As-zouten	100
Tanninen	40
Monosacchariden	20
Pectines	20
Essentiële olie	5-10
Aminozuren	1
Cellulose	400-500
Vetten en vetzuren	<10 (?), tot 250 (?)
Polyfenolen	20-50



8



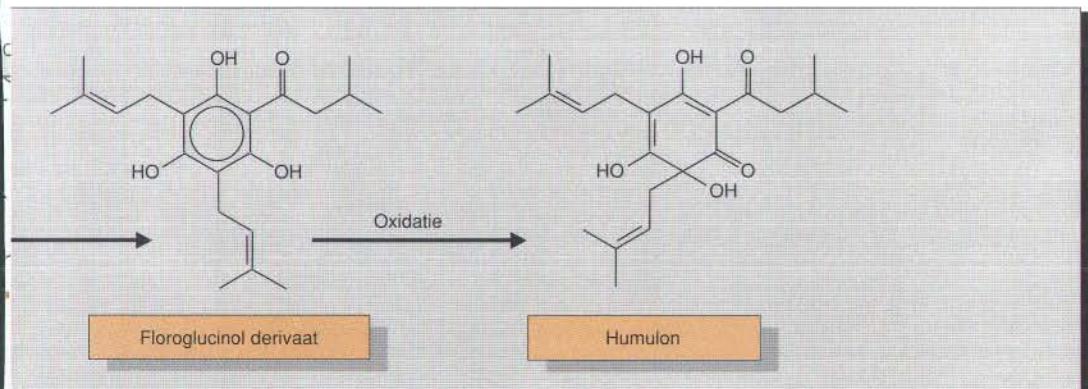
7

via stekken. Op de Britse eilanden levert dit verschil tussen mannelijke en vrouwelijke hopplanten geen problemen op, want daar wordt bier gewoonlijk zonder schuim geserveerd.

Hopzuren

Onder de bladaanhechtingen van hopplanten liggen, diep verscholen, lupulineklieren. In deze klieren bevindt zich het geelgekleurde, aangenaam ruikende lupulinepoeder, dat de belangrijke hopbitterstoffen bevat. Van zichzelf smaken deze componenten helemaal niet bitter, doch het zijn de voorlopers van bittere derivaten. De humulonen of α -hopzuren (α omdat ze het eerst ontdekt werden) vormen de belangrijkste klasse van deze voorlopers. Ze bestaan uit een centrale zesring-structuur, waaraan vijf verschillende restgroepen gehecht kunnen zijn. Een van de vijf verbindingen, humulon, is kwantitatief de belangrijkste component van het mengsel (tot 70%). Het kan op relatieve eenvoudige wijze worden geïsoleerd en gezuiverd.

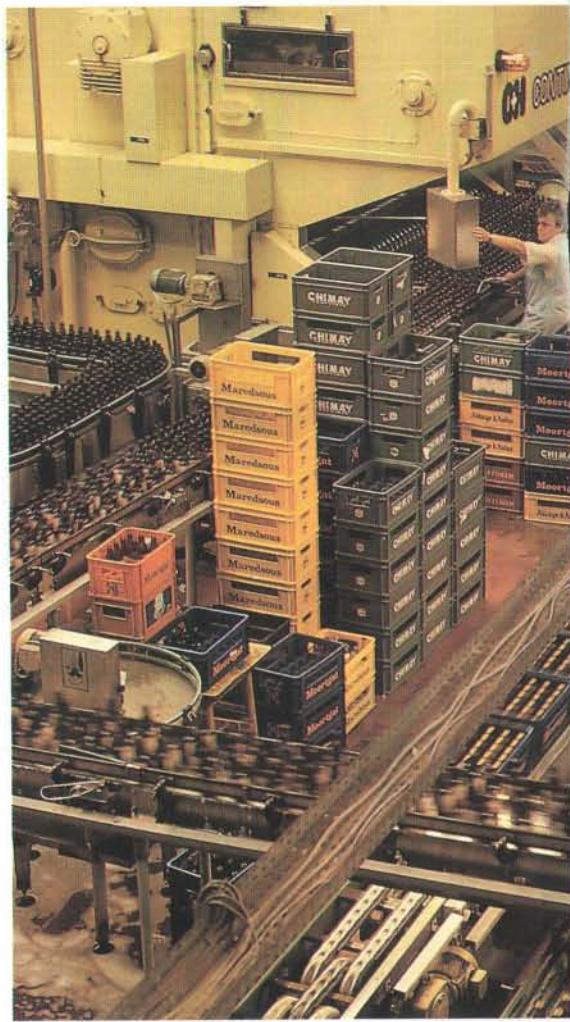
De tweede klasse vormen de lupulonen of β -hopzuren, die structureel een sterke overeenkomst vertonen met de humulonen. Helaas dragen de lupulonen als zodanig weinig bij aan het brouwproces. Daarom is het gunstig dat lupulonen met lichtenergie omgezet kunnen worden in humulonen – en dat zijn, zoals opgemerkt, wel voor het brouwproces belangrijke stoffen (afb. 8). Deze zeer nuttige omzetting vindt echter in de praktijk nog niet plaats, hoofdzakelijk wegens de povere wetenschappelijke benadering van het brouwen.



Van smaakloos zuur tot zurig bitter

Van de hopzuren blijken vooral de α -hopzuren, en daarvan weer hoofdzakelijk het humulon, belangrijk te zijn voor het brouwproces. Hoe komt dat? Gedurende het koken van wort met hop worden de niet-bittere humulonen omgezet in de zogeheten *isohumulonen*, die uitgesproken bitter smaken. Er vindt een structuurwijziging plaats, waarbij de zesring overgaat in een vijfring, zodat twee verschillende isomeren kunnen ontstaan. Aldus worden cis-isohumulon en trans-isohumulon gevormd. Deze cis-trans isomeren zijn zeer moeilijk van elkaar te scheiden. Maar onder invloed van ultraviolette straling ontstaat uit humulon alleen trans-isohumulon, waardoor het mogelijk is om alleen dit isomeer te produceren. Deze kristallijne verbinding kan perfect worden gezuiverd, zodat een standaard ter beschikking komt voor analyses van bitterstoffen en voor smaakproeven.

De omzetting van de zure humulonen in de bittere isohumulonen vormt naast de gisting één van de belangrijkste stappen in het brouwproces. Waarom zijn isohumulonen zo belangrijk om goed bier te krijgen? Allereerst leveren de isohumulonen de grootste bijdrage tot de bittere smaak van bier. De hoeveelheid isohumulonen in bier varieert van ongeveer 20 ppm tot meer dan 70 ppm; een normaal pilsbier bevat 20 à 25 ppm isohumulonen; zeer bitter smakende bieren, zoals sommige Ierse bieren, kunnen tot driemaal deze concentratie van deze verbinding bevatten. Uit tabel 3 blijkt dat de isohumulonen tot de sterkste bitterstoffen



9

TABEL 3 Minimaal waarneembare hoeveelheden van bitterstoffen ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Kininesulfaat	6
Kininehydrochloride	10
Cafeïne	140
Magnesiumsulfaat	550
Isohumulonen	5,6

gerekend mogen worden. Overigens kan met de huidige stand van de wetenschap onmogelijk worden verklaard wat nu precies deze stoffen bitter doet smaken.

Een tweede belangrijke eigenschap van isohumulonen is het feit dat ze alkenylzijketens bevatten. Dankzij deze zijketens tasten isohumulonen de celwand van de meeste bacteriën aan, wat deze micro-organismen niet overleven. Dit verklaart dat gehopte wort een 'steriele' oplossing is, die vervolgens onder bacterievrije omstandigheden aan het gistingssproces wordt onderworpen. Het afgewerkte bier kan dan ook, zonder enig bewaarmiddel of zonder



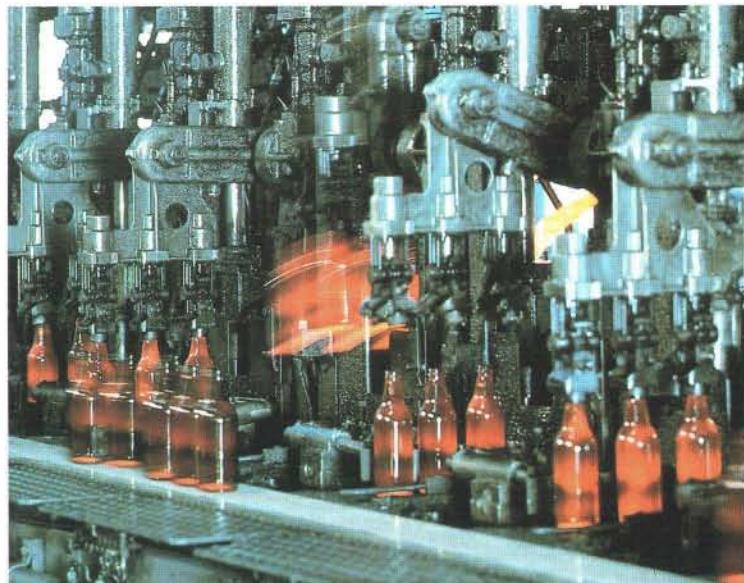
9. In de bottelarij worden fris gewassen flessen met bier gevuld, voorzien van een etiket en vervolgens in kratten geladen.

10. De vervanger van het 'pijpje' bestaat ook uit bruin glas dat vorming van

ionen – en die zijn weer nodig om de schuimopbouw in een glas bier te bevorderen. De isohumulonen functioneren hier als het ware als transportmiddel om metaalionen uit de bieroplossing naar het schuim te transporter. Het is dan ook onmogelijk om een blijvende, stevige schuimkraag op bier te houden, indien de concentratie isohumulonen minder dan 20 ppm bedraagt.

de lichtsmaak voorkomt. Hoewel minder zwaar, zijn de nieuwe bierflesjes ster-

ker dan hun voorloper en kunnen ze hygiënischer worden afgevuld.



10

pasteurisatie, weken en zelfs maanden worden bewaard.

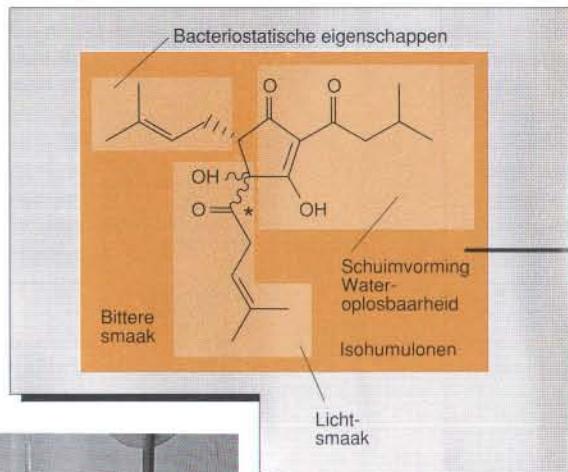
Een derde bijzondere eigenschap van isohumulonen is de aanwezigheid van een zijketen van drie ketogroepen aan hetzelfde koolstofatoom van de vijfring. In tegenstelling tot de smaakloze humulonen, die een zuurconstante van ongeveer 5,5 kennen, hebben de bittere isohumulonen een zuurconstante van 2,8 à 3,0. Dit betekent dat de drie ketogroepen van isohumulonen, bijvoorbeeld in pilsbier met een pH-waarde van 5,2, voorkomen in de wateroplosbare zoutvorm. Daarbij vormen deze drie groepen complexen met allerlei metaal-

Lichtsmaak van bier

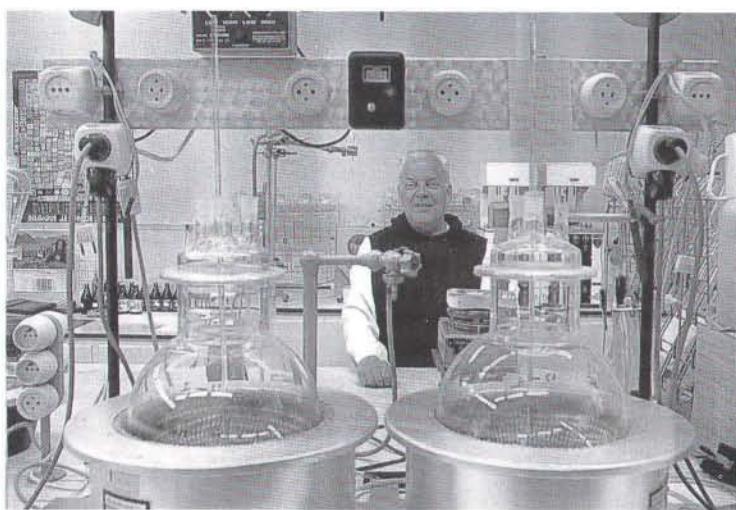
Meer dan een eeuw geleden stelden brouwers al vast dat bier snel onaangenaam gaat ruiken en smaken, indien het bewaard wordt in kleurlose flesjes. Onder invloed van licht worden blijkbaar afschuwelijke geur- en smaakstoffen gevormd, die het bier bederven. In die tijd was groen glas gemakkelijk beschikbaar, zodat bier van oudsher in groene flesjes werd bewaard. Groen glas laat echter nog een fractie van het zichtbare licht door, waaronder ook het energierijkste gedeelte met een golflengte korter dan 500 nanometer. Bruingekleurd glas

absorbeert vanaf 500 nanometer alle licht. Groen glas is dus voor opslag minder geschikt dan bruin glas. Aluminiumblikjes zijn in dat opzicht het beste, want ze laten helemaal geen licht door.

In het algemeen veroorzaakt licht geen chemische omzettingen die de geur en smaak van bier beïnvloeden. Er is echter minstens één uitzondering en dat is de afbraak van isohumulonen. Door deze afbraak worden ogenblikkelijk een slechte smaak en de onaangename geur van 'kattepis' ontwikkeld. We noemen dit de



12



11

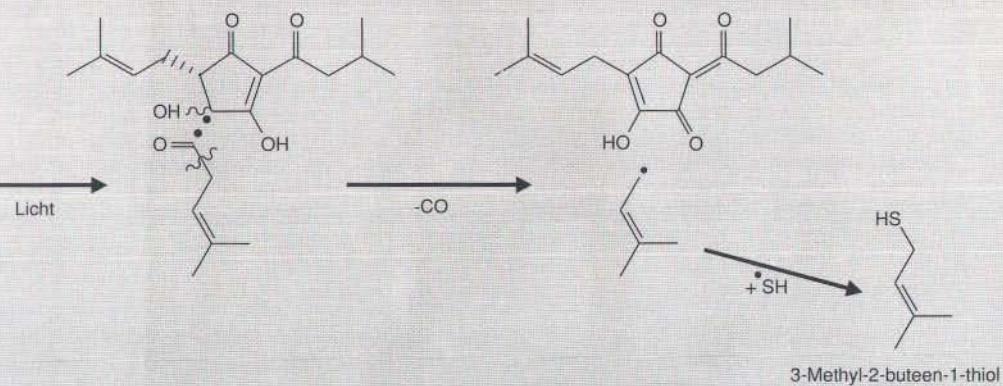
lichtsmaak en de *lichtgeur*. Welk reactiemechanisme hier achter zit, is het onderwerp van veel onderzoek geweest. Momenteel is het onderzoek op dit gebied erop gericht om de lichtsmaak onder controle te krijgen of zelfs teniet te doen.

Nu blijkt de carbonylgroep van isohumulon, die naast de alcoholgroep aan de vijfring zit, de hoofdrol te spelen bij de ontwikkeling van de lichtsmaak. Door opname van ultraviolet licht – waarschijnlijk door tussenkomst van riboflavine, of vitamine B2, dat zelf licht opneemt en de energie overbrengt naar de isohumulonen – breekt de binding tussen de carbonylgroep en de vijfring, waardoor reactieve radicalen ontstaan. De vrijgekomen zijketen verliest koolstofmono-oxyde, waardoor een

nieuw radicaal geproduceerd wordt. Dit radicaal wordt snel gestabiliseerd door combinatie met een ander radicaal, bijvoorbeeld een thioldradicaal (-SH), afkomstig van de afbraak van zwavelhoudende eiwitten. Op deze wijze ontstaat een stabiel molecuul, het 3-methyl-2-buten-1-thiol (afb. 12). Zoals de meeste tweewaardige zwavelverbindingen, kenmerkt dit thiol zich door een afgrisjelijk smerige smaak en geur. De drempelwaarde voor menselijke waarneming ligt zo laag dat concentraties beneden de ppb-grens fataal zijn voor de bierkwaliteit. De kans dat de lichtsmaak zich ontwikkelt in een bruin flesje is vrij gering, maar vooral in direct (zon)licht kan de lichtsmaak al enkele ogenblikken na het uitschenken in een glas optreden. De boodschap luidt dus onom-

11. Alle brouwerijen waken er voor dat de smaak van hun bier niet verandert. Ook het bovengegenste trappistenbier bereikt pas na een grondige controle de consument.

12. Het zeer bittere isohumulonmolekuul krijgt door zijn karakteristieke groepen verschillende eigenschappen. Vorming van 3-methyl-2-buteen-1-thiol zorgt voor de lichtsmaak.



wonden: het glas snel leegdrinken of de fles aan de mond.

Er is nog een ander gegeven dat erop wijst dat isohumulonen de lichtgevoelige verbindingen in bier zijn. Door namelijk isohumulonen te behandelen met natriumboorhydride ontstaan gereduceerde isohumulonen. In direct licht blijken deze perfect stabiel te zijn. Daarom kan bier dat gebitterd is met gereduceerde isohumulonen, worden bewaard in kleurloze flesjes. Het pilsbier van de op één na grootste brouwerij ter wereld, Miller, wordt via deze techniek geproduceerd.

Vingerafdruk van bier

Smaakwaarneming is subjectief: ieder individu ervaart eenzelfde bier op een enigszins andere wijze. Toch nemen verschillende mensen aan dat specifieke bestanddelen het bier een typerende smaak geven. Wellicht wordt het in de toekomst mogelijk een bier objectief te beoordelen met behulp van geavanceerde chemische analysemethoden. Zou de tijd veraf liggen dat elk bier een kwaliteitslabel meekrijgt in de vorm van een 'vingerafdruk' van de chemische samenstelling?

Literatuur

- Crombecq P. Bierjaarboek 1989-1990. Utrecht/Antwerpen: Kosmos, ISBN 90 215 1528 8.
 De Keukeleire D. De chemie van de hopbitterzuren. Gent: proefschrift Rijksuniversiteit Gent, Laboratorium voor Organische Chemie, 1982.
 Jackson M. Spectrum Bieratlas. Utrecht/Antwerpen: Het Spectrum, 1977; ISBN 90 274 83027.
 Jansen ACM. Bier in Nederland en België – een geografie van de smaak. Utrecht: proefschrift Universiteit van Amsterdam, Drukkerij Elinkwijk, 1987.
 Patroon W. Bier. Antwerpen/Amsterdam: Standaard Uitgeverij, 1984; ISBN 90 02 13953 5.
 Tulfer JH. Belgische Biergids. Antwerpen: Nieuwe Media Produktions, 1986; ISBN 90 71089 10 X.
 Verschillende auteurs. Natuur in uw glas. Antwerpen/Amsterdam: Standaard Uitgeverij, 1986; ISBN 90 02 15856 4.
 Verzele M. 100 Years of hop chemistry and its relevance to brewing. J. Inst. Brewing, 1986; 92: 32.

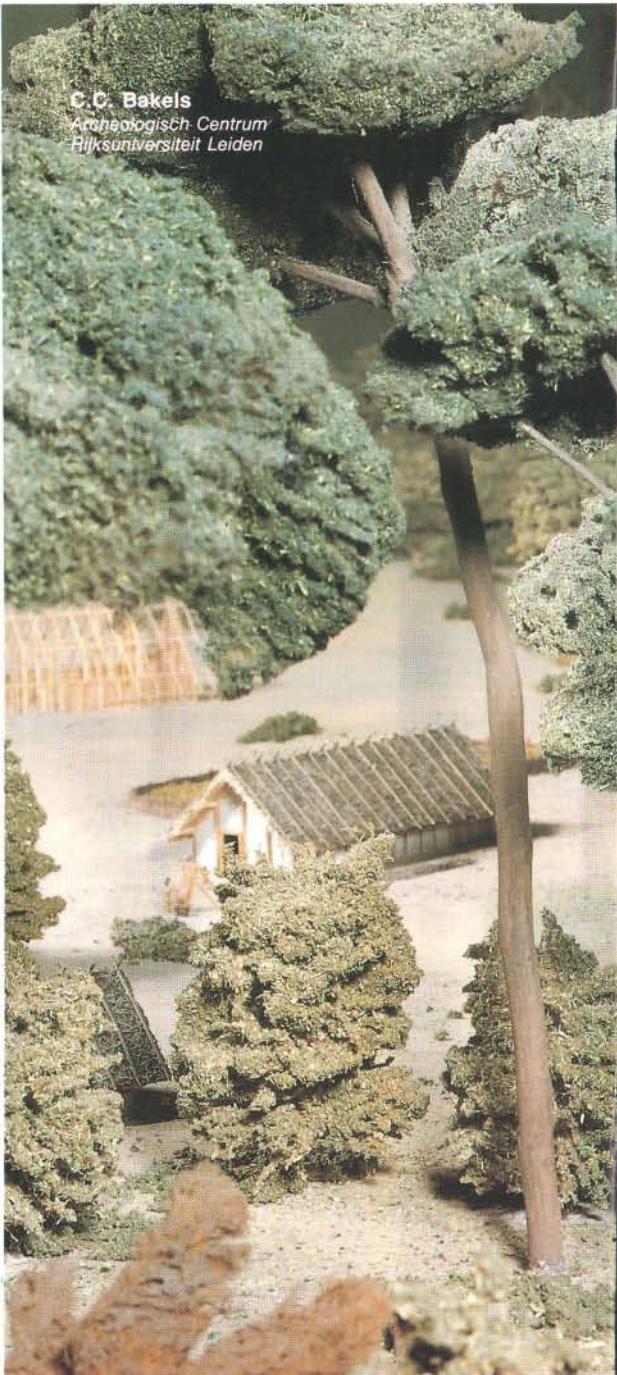
Bronvermelding illustraties

- Brand Brouwerijen, Wyle: pag 228-229.
 Confederatie der Brouwerijen van België, Brussel: 1.
 Heineken Nederland BV, Zoeterwoude: pag 230-231, 2.
 Brouwerijen Artois/Interbrew NV, Leuven: 3, 4.
 De Wolf-Cosyns Maltings, Aalst: I-1, I-2, I-3.
 Landbouwuniversiteit Wageningen: 7.
 Paul Smit/Imago, Leiden (Met dank aan Brouwerij Moortgat in Puurs, resp. Brasserie de Chimay in Baileux-lez-Chimay): 9, 11.
 NV Vereenigde Glasfabrieken, Leerdam: 10.

Wie kent niet het verhaal van de Vrouwe van Stavoren? Zij leidde een bloeiende handelsonderneming en rederij. Eens vroeg zij haar meest ervaren kapitein als retourvracht het kostbaarste mee te nemen wat hij kon vinden. Het werd graan en dat beviel mevrouw niet. "Over welk boord is het geladen, dan gaat het over het andere weer overboord", tierde zij. Graan was volgens haar geen 'schat'. Ze had ongelijk. Graan schittert wel niet als goud en edelstenen, maar het is de basis van rijkdom. De rijke culturen uit het verleden dankten hun bestaan aan graanteelt.

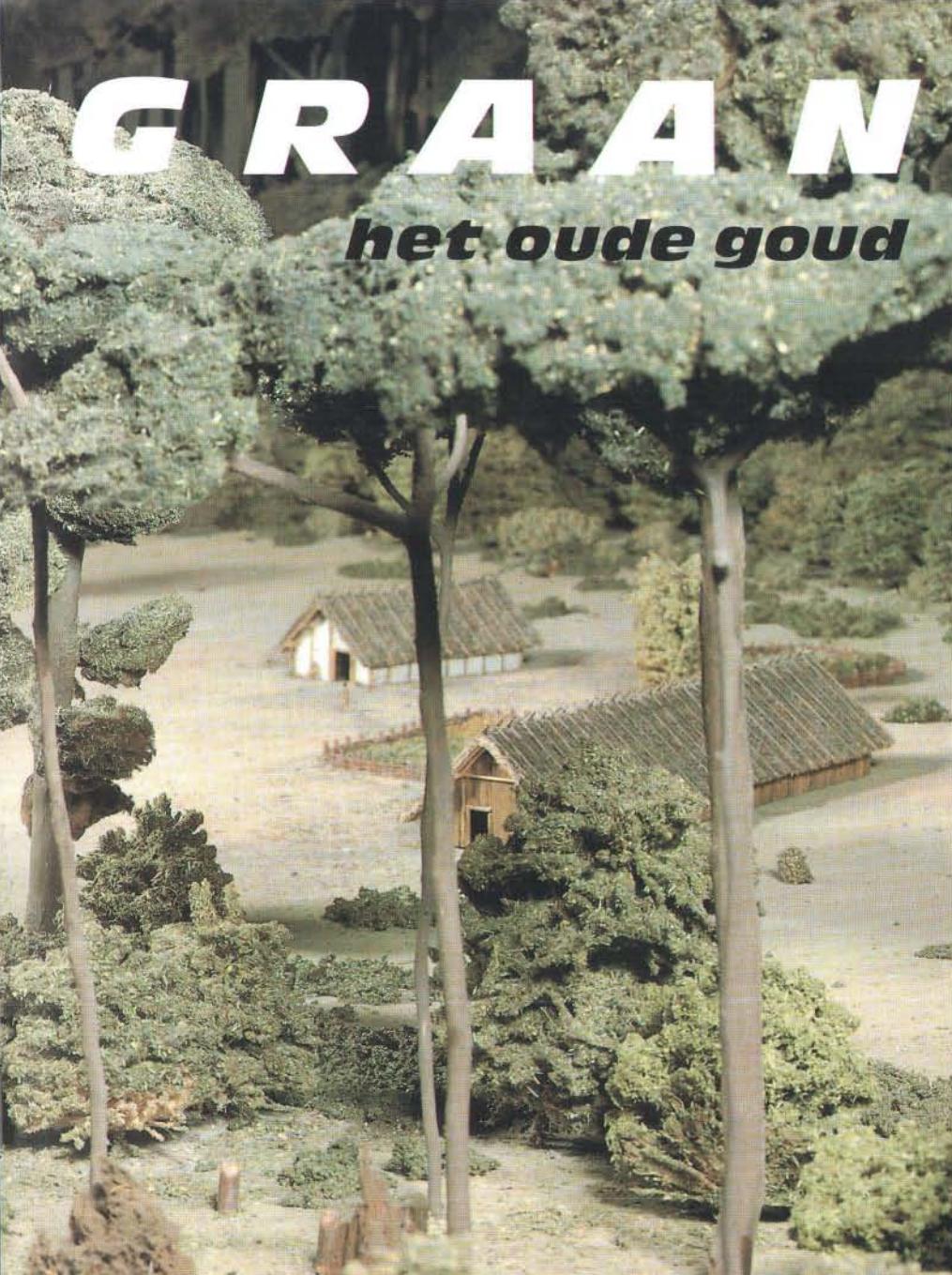
Op basis van opgravingen in Duitsland is deze reconstructie van een Bandkeramisch dorp gemaakt. De maquette, in schaal één op honderd, laat de langwerpige huizen op een open vlakte in het bos zien.

C.C. Bakels
Archeologisch Centrum
Rijksuniversiteit Leiden



G R A A N

het oude goud



De teelt van graan – dat zijn alle gedomesticeerde grassen, dus ook rijst, maïs, sorghum en dergelijke – blijkt de algemene bestaansbasis te zijn van de meeste zogenaamde Hoge Culturen. Dat zijn de historische culturen die de fraaie voorwerpen hebben nagelaten waarvoor wij graag naar musea gaan. In zulke culturen konden groepen mensen vrijgesteld worden van de voedselproductie en zo kregen zij de tijd om iets anders te doen. Essentieel daarvoor was dat de anderen in de gemeenschap een voedseloverschot of *surplus* konden produceren.

In de archeologie wordt het bestaan van zo'n surplusproductie meestal klakkeloos aan genomen. Het wordt afgeleid uit de aanwezigheid van een sociale gelaagdheid in een cultuur, zoals die blijkt uit het bestaan van arme en rijke graven, of uit de aanwezigheid van paleizen en openbare gebouwen. Dat is echter de bewijslast omkeren. Is het mogelijk om surplusproductie zelf aan te tonen? Dit artikel laat die mogelijkheden zien en licht ze waar mogelijk toe met voorbeelden uit de Nederlandse prehistorie.

De oudste Nederlandse akkers

De Bandkeramische boeren die zo'n 7000 jaar geleden in Zuid-Limburg hun bedrijf uitoefenden, waren de eerste akkerbouwers in ons gebied. Leverden hun akkers al een surplus op?

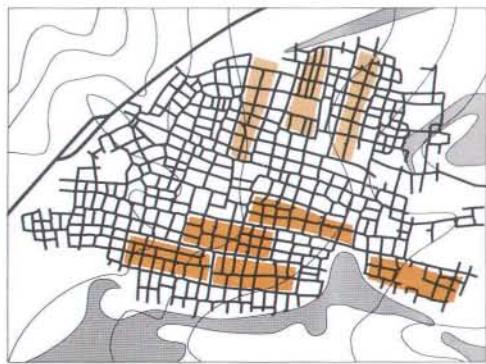
Om dat te kunnen berekenen, moeten we een aantal zaken te weten zien te komen. Dat zijn: de omvang van de akkers, de opbrengst per hectare en de grootte van de groep mensen die het land bewerkte en ervan at. Voor een archeoloog zijn dit vragen van een hoge moeilijkheidsgraad, maar ze zijn tot op zekere hoogte te beantwoorden.

Om met de omvang van het bebouwde areaal te beginnen: dit kan niet groter zijn dan het territorium van een afzonderlijke nederzetting. Akkeren op het land van de 'buren' geeft gemeenlijk moord en doodslag. De omvang van de territoria is af te leiden uit de verspreiding van gelijktijdige nederzettingskernen. Je moet daarvoor alle bewoningsseenheden met hun ouderdom kennen. Voor het gebied tussen Geleen, Stein en Beek heeft de auteur dat achterhaald. De territoria zijn daar 60 tot 170 hectare groot.

Overigens was lang niet het gehele gebied in

cultuur. Ons land is van nature zwaar bebost. Beakkering zet dit bos om in cultuursteppe. Het verschil in vegetatie blijkt uit de analyse van fossiel stuifmeel en is af te lezen uit de zogenaamde *pollendiagrammen*. In de tijd van de Bandkeramiek was er nog maar zó weinig bos in akker omgezet, dat we de stukjes cultuursteppe ternauwernood kunnen vinden. Nog geen kwart van de territoria bestond uit akkerland. Dat de akkers klein waren en in het bos lagen wordt trouwens bevestigd door de akkeronkruiden van die tijd. Er zitten tamelijk veel bosrandplanten onder.

De experimentele archeologie leert ons dat er bij de veronderstelde toenmalige stand van technologie zeker opbrengsten van duizend kilogram graan per hectare mogelijk zijn. De omvang van de boerenbevolking wordt uitgerekend op basis van het aantal en de grootte van de boerderijen. Een denkbeeldig Bandkeramisch modeldorp, een grof gemiddelde van de bekende dorpen, telt vijftig inwoners. De



bewoners ervan moeten bij een bruto graanopbrengst van 1000 kg/ha tussen de elf en veertien hectare bebouwen, afhankelijk van het aantal kinderen in het dorp. Die elf à veertien hectare zijn minder dan een kwart van het hele dorpsterrein. Dit komt aardig overeen met de gegevens uit de pollendiagrammen. De conclusie moet luiden dat onze eerste boeren geen surplus produceerden.

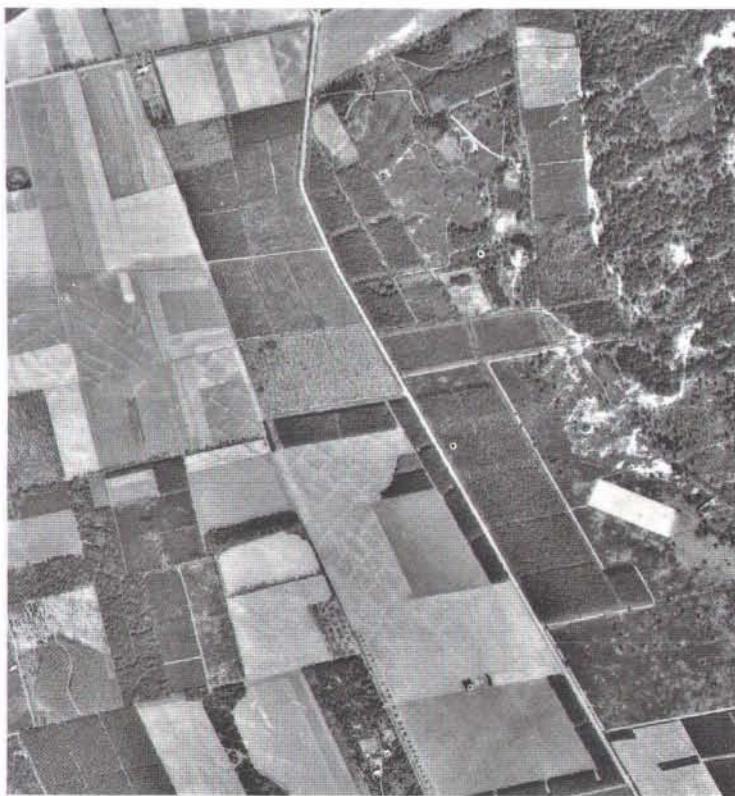
Nu is er uit archeologische hoek ook nooit beweerd dat ze een surplus produceerden. Dat ligt anders aan het eind van de vaderlandse prehistorie, in de IJzertijd, de laatste eeuwen voor Christus.

Raatakkers

Uit deze tijd zijn akkers lijfelijk bekend. Ze zijn zelfs tegenwoordig nog in het landschap zichtbaar; op de Veluwe en in Drenthe. Ze staan bekend onder de naam *raatakkers* of celtic fields. Het raatakkercomplex bij Vaassen

op de Veluwe is goed bestudeerd. Uit de beginperiode van het complex zijn twee stel ontginningsseenheden bekend. Eén eenheid is ongeveer twee hectare groot en is onderverdeeld in twee à drie stroken. Het bestaan van die stroken zou wijzen op het bestaan van wisselbouw. Het bestaan van twee stel ontginningsseenheden zou wijzen op de aanwezigheid van twee boerenbedrijven. Bij de ene hoorde tien hectare, bij de andere zes en daarvan lag dan de helft braak. Er was dus acht hectare ingezaaid land beschikbaar voor een bevolking van ten hoogste vijftien personen. Deze boeren hadden daarmee twee maal zoveel grond in cultuur als we voor Bandkeramische boeren nodig achten.

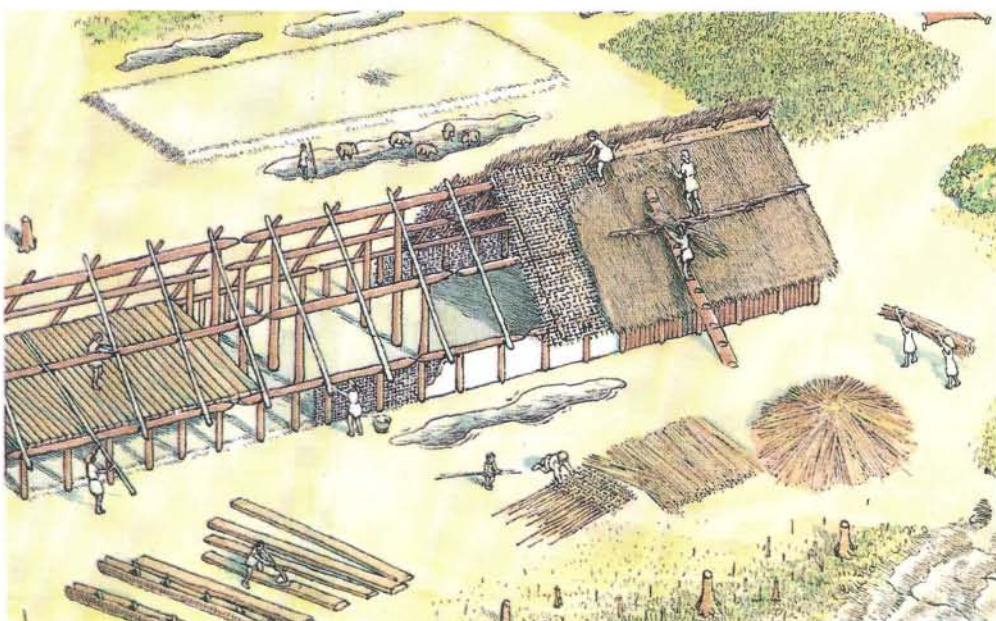
Met enig rekenwerk komt men uit op een zaaihoeveelheid/oppervlakte-verhouding van één staat tot drie. Een dergelijk laag rendement is niet echt onwaarschijnlijk. Als het waar is aten de producenten hun eigen oogst schoon op en is het maar de vraag of ze wat overhieldden voor



3

1. Deze verkoelde tarwe stamt uit de bandkeramiek, en is zo'n 7000 jaar oud. Het graan is gevonden in Geleen.

2 en 3. Celtic fields of raatakkers zijn vierkante akkers die omgeven zijn door muren, bijvoorbeeld houtmuren. Het kaartje geeft de muren van de celtic fields bij Vaassen weer. De grijze stukken zijn vochtige gebieden en links loopt een oude weg. De gekleurde akkers vormen ontginningsseenheden uit de beginfase van het hele gebied. Op de luchtfoto van het Wekeromsche Zand (Veluwe) zijn raatakkers zichtbaar als een ruitjespatroon, dat zich niets van de huidige verkaveling aantrekt.



4

het bijvoeren van eventuele trekdieren. Geen surplus dus. Bij een iets gunstigere schatting van de opbrengst en wat minder braakliggend land, bij een optimistischer visie dus, komt er wél een surplus uit de bus.

Sleutelen aan de randvoorwaarden heeft in de paleo-economie net zo'n effect als in de hedendaagse. Het resultaat van de berekeningen is in behoorlijke mate afhankelijk van de al dan niet optimistische visie van de onderzoeker.

Cash-crops

Is het aan- of afwezig zijn van een surplusproductie niet op andere wijze aan te tonen? Het is bijvoorbeeld aannemelijker dat het produceren van een surplus gebeurt op basis van één enkel, daarvoor uitermate geschikt gewas, zoals een *cash-crop*. Voor eigen consumptie kweekt men een breed scala gewassen, maar voor de handel slechts één soort. Archeologen hebben daar inderdaad voorbeelden van gevonden. Uit de Nederlandse pre- en protohistorie is een dergelijke produktiewijze niet met zekerheid bekend, hoewel er enige aanwijzingen in die richting zijn. In het Noordgriekse Kastanas, een woonheuvel in Macedonië, is

het bestaan van cash-crops met zekerheid aangetoond.

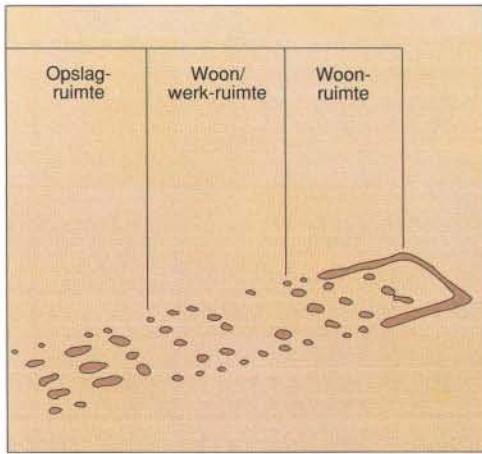
Een woonheuvel ontstaat doordat de mensen steeds huizen bleven bouwen op de ruïnes van die van hun voorgangers. De opgravers van Kastanas telden 28 woonlagen die samen 13 meter dik waren. De bewoning begon in de Vroege Bronstijd (2000 v. Chr.) en eindigde in de Archaïsche periode (600 v. Chr.). Het hele pakket lagen is op plantenresten onderzocht. In de Vroege Bronstijd waren gerst, emmertarwe en eenkoorttarwe de voornaamste granen. Dit was weer zo in de IJzertijd en later. In de Late Bronstijd, die daartussen ligt, ziet het beeld er echter anders uit. Er is dan een dominante van eenkoorn.

Nu zou het zo kunnen zijn dat de plaatselijke boeren na de Vroege Bronstijd te kampen hadden met uitputting van de grond en dat ze daarom het gemakkelijke gewas eenkoorn gingen verbouwen. Ná de Bronstijd zouden innovaties ervoor gezorgd kunnen hebben dat de problemen verdwenen. In de plaatselijke situatie was gerst echter een nóg gemakkelijker gewas dan eenkoorn. De dominantie van eenkoorn betekent iets anders: het was een cash-crop, handelswaar.

In Kastanas zijn de lagen uit de Late Brons-



5



6

4, 5 en 6. Zo ongeveer moeten de Bandkeramiekers in Elsloo hun huizen hebben gebouwd. Hoe die huizen er precies uitzagen is niet bekend, omdat alleen de palen die het huis droegen hun sporen nalie-

ten. De opgraving in het Duitse Frimmersdorf laat dat zien. Het is heel wel mogelijk, dat een deel van de boerderij voorzien was van een zolder die voor opslag van bijvoorbeeld graan diende.

tijd ook juist de lagen met geïmporteerde luxe goederen, zoals Mykeense aardewerk. De Mykeense wereld was er een van sociale differentiatie. Misschien waren onder andere de Macedoniërs de producenten die de Mykeense hoven draaiende hielden. Het zou kunnen, maar er zijn wel twee kanttekeningen bij te maken. De conclusie dat eenkoorn een cash-crop was, is getrokken uit de dominantie van het gewas in verhouding met andere. Aangezien verhoudingen iets relatiefs weergeven, zou je ook kunnen zeggen dat gerst en emmertarwe waren ondervertegenwoordigd, mogelijk omdat ze geëxporteerd werden en daardoor verdwenen uit de lokale voorraden. De tweede kanttekening is dat het graansurplus voor een locale elite bestemd kon zijn, een elite die op andere wijze aan zijn luxe aardewerk kwam. Hoe het ook zij, er is iets met een graansurplus.

Helmut Kroll, die de plantenresten van Kastanas onderzocht, zou Helmut Kroll niet zijn als hij in zijn conclusies niet nog een stapje verder ging. De Homeriche helden die bij Troje vochten zouden uit de Mykeense wereld komen. Volgens Kroll waren ze zo sterk geworden door het eten van ordinaire graanpap. Met andere woorden, Ajax at pap, om precies te zijn: griesmeelpap.

Opslag

Naast het achterhalen van de hoeveelheid bouwland per nederzetting en het aantonen van een dominant gewas, is er een derde mogelijkheid om surplusproductie op het spoor te komen. Dit derde spoor leidt naar de opslagruimtes. Een surplus wordt namelijk ergens opgeslagen; het is teveel om direct te consumeren. Als er ergens overcapaciteit aan opslagruimte is, zou dit kunnen wijzen op de regelmatige aanwezigheid van een surplus. Laten we nog eens gaan kijken naar de drie agrarische economieën die in dit artikel tot voorbeeld dienden.

In het Macedonië van de Late Bronstijd is de aanwezigheid van opslagfaciliteiten voor een surplus duidelijk aangetoond. In een teruggevonden opslagruimte in Assiros bevond zich zelfs voornamelijk eenkoorn.

De twee Nederlandse voorbeelden geven in dit opzicht meer problemen. Om met de Bandkeramiek te beginnen: deze kende zowel opslag onder als opslag boven de grond. Opslag boven de grond komt tegenwoordig ook nog voor, maar opslag onder de grond is uit de mode. Ondergrondse opslag vond plaats in cilindrische tot afgeknot kegelvormige kuilen die silo's heten. We herkennen dergelijke kuilen als graansilo, op grond van historische parallellen uit onder andere Hongarije.

Dat je in zo'n gat ook bij ons uitstekend graan kunt opslaan is bewezen met diverse experimenten. Het blijkt dat graan er uitstekend in bewaard blijft mits er geen water of lucht bij



7

komt. Er moet, met andere woorden, een droog, anaëroob milieu heersen. Het graan creëert zelf dat anaërobe milieu, doordat het de aanwezige zuurstof verbruikt via zijn ademhaling. Er ontstaat een rusttoestand waarbij kiemkracht en smaak behouden blijven. Het enige probleem is dat je een silo niet naar believen kunt openen en sluiten. Het is in ons klimaat één keer openen en leeghalen. Het gebruik van de silo brengt dus beperkingen met zich mee. Ze zijn dan ook alleen geschikt om zaai goed in te bewaren of om een partij graan langdurig op te slaan. Graan voor de eigen, dagelijks consumptie moet elders worden bewaard.

Wortels brachten geen rijkdom

Wortel- en knolgewassen zijn van ondergeschikt belang geweest bij het ontstaan van de gecompliceerde, sociaal gelaagde, samenlevingen waarbinnen 'schatten' kunnen ontstaan. Een sprekend voorbeeld van het belang van graan boven dat van andere gewassen, is te vinden in het werk van Anna Curtenius Roosevelt. Zij zocht naar een verklaring voor het feit, dat er binnen het Zuidamerikaanse Amazonengebied een verschil in culturele complexiteit bestond tussen enerzijds de bewoners van het tropisch regenwoud en anderzijds de bewoners van de, overigens

ook door tropisch bos bedekte, riviervlakten van de Amazone en de Orinoco.

De bewoners van het binnenland kweekten een zetmeelrijk wortelgewas: maniok. Het vormde de hoofdmoed van hun menu, dat werd aangevuld met vlees afkomstig van jacht. Nu is het aantal bejaagbare dieren in deze streken niet zo groot. De dichtheid van wild is er niet hoog. In een maniokcultuur kunnen daarom geen groepen individuen vrijgesteld worden van de voedselvoorziening. De draagkracht van het milieu, gecombineerd met de gebruikte tech-



8. De stoere Ajax was een van de Mykeense helden uit de Trojaanse Oorlog. Mogelijk kon hij oorlogvoe-

7. Luxe goederen, zoals dit Mykeens aardewerk, duiden op een cultuur die voedsel in overvloed produceerde.

ren dankzij de graanproductie van de Macedoniërs en hoeft hij niet zelf akker op.

8



INTERMEZZO

nologie, is daarvoor te gering. Dezelfde cultuur was aanvankelijk in zwang op de riviervlaktes. Dit veranderde toen hier in de late prehistorie de maïs werd geïntroduceerd. Maïs doet het goed op de rijke alluviale gronden en levert een product met een betere voedingswaarde dan maniok. Met de maïs werd overigens ook de boon geïntroduceerd. Die twee gewassen, met maïs als voorraadvoedsel, vormen de basis van de ontwikkeling van complexere culturen langs de grote rivieren in het Amazone-gebied. Di-verse opgravingen ondersteunen deze hypothese.

Bandkeramische silo's

In de Bandkeramiek hoorde bij elke boerderij hooguit één silo. De bruto inhoud van de silo's is ongeveer 2 m³. Hierin kon iets meer dan één ton graan opgeslagen worden; zonder stro, maar ongedorst zoals dat in de Bandkeramiek gebruikelijk was. Was dit zaagraan of een surplus?

In de meeste landbouwkundige modellen en experimenten wordt gerekend met tweehonderd kilogram zaagoed per hectare. De inhoud van één silo is dan goed voor een kleine vijf hectare bouwland, want er ging tijdens de opslag wat graan verloren. Als we nu gaan kijken naar een concreet voorbeeld, de nederzetting Langweiler 9 fase 3, een dorp vlak over de grens voorbij Aken, dan zien we daar vijf boerderijen met drie silo's. Volgens het eerder gehanteerde model zouden deze vijf huishoudens voor eigen gebruik elf à veertien hectare akkerland hebben. In de silo's ligt dan precies genoeg zaagraan. Ook voor een andere nederzetting, Bylany in Tsjechoslowakije, komen de resultaten weer aardig in die buurt.

Het klinkt te mooi om waar te zijn: de silo's bevatten uitsluitend zaagraan. Maar er kruipen een addertje onder het gras. In de berekeningen is namelijk aangenomen dat de silo's een even lange levensduur hadden als de huizen. Dat zou kunnen, maar zeker is het niet; mogelijk bestonden ze korter. In dat geval wordt het wat krap met zaagoed. Hoe het ook zij, in de Bandkeramische silo's zat vast geen surplus. Op grond van het bouwplan van bepaalde typen Bandkeramische huizen, vermoeden we dat ze een zolder hadden. Als er een surplus was, dan lag het op die zolders, samen met het consumptiegraan.

Spiekers

Ook in de IJzertijd was de silo in gebruik, maar uit opgravingen is gebleken dat de bewoners van nederzettingen zoals die te Haps (Oost-Brabant), ze niet hadden. Zij pasten bovengrondse opslag toe in zogenoemde *spiekers*: schuurtjes op palen. Het woord spieker is afgeleid van het Middeleeuws-Latijnse woord spicarium. In Haps stonden drie huizen tezelfd, te zamen met negen spiekers. Een spieker heeft een gemiddeld vloeroppervlak van vier vierkante meter. Het is onwaarschijnlijk, maar

niet geheel onmogelijk, dat ze alleen voor graan werden gebruikt. Niemand weet hoe hoog graan in deze constructies werd opgetast, maar de Engelsen die zich met de capaciteit van spiekers in Danebury bezighielden, gingen uit van een storthoogte van twee meter. In elke spieker ligt dan 8 m^3 graan, wat overeenkomt met vijf ton. Het hele dorp Haps heeft dan een opslagcapaciteit van 45 ton graan.

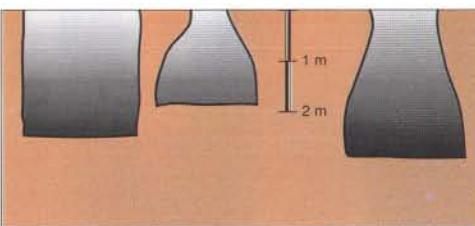
De bewoners van Haps produceerden voor eigen gebruik iets meer dan zeven ton graan op hun akkers. De capaciteit van de spiekers is vele malen groter. Daarmee is echter nog lang niet zeker dat de spiekers grotendeels met surplusgraan gevuld waren. Ten eerste is het de vraag of de spiekers wel een gewicht van 5 ton graan konden houden. Ten tweede nemen we nu voor het gemak maar aan dat alle spiekers dezelfde levensduur hadden als de huizen. Dat hoeft niet, maar is evenmin onmogelijk. Ten derde is niet elke schuur per se een graanschuur. Ten vierde kon het wel eens zo zijn dat middeleeuwse klerken het woord *spicarium*



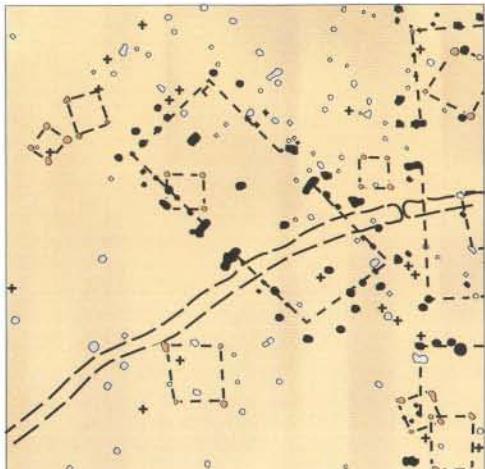
11



9



10



12

9 en 10. De Bandkeramiekers gebruikten ondergrondse silo's voor de opslag van graan. Na afloop van een hedendaags experiment bleek de buitenste laag graan te zijn gekiemd en geschimmeld, maar de rest was na een half jaar nog perfect geconserveerd.

11 en 12. Bij huizen uit de IJzertijd hoorden spiekers, die mogelijk dienden voor de opslag van surplusproductie. Bij Orvelte staat een reconstructie van zo'n huis met spiekers. De opgraving in Haps bracht meerdere huizen en spiekers van verschillende ouderdom aan het licht.



niet voor niets hebben gecreëerd en zaten in spiekers spicae, dat wil zeggen hele aren met misschien nog een stukje stro eraan. Dit rijmt aardig met de akkeronkruiden die we tussen IJzertijdgranen vinden. Daar zijn soorten bij die niet de hoogte van de aren bereiken en alleen bij stro-snijden mee kunnen komen. Als we hiermee rekening houden, gaan capaciteitsberekeningen er wel even anders uitzien.

Geen Nederlands surplus

Tenslotte kan het wel eens een onzinnige bezigheid zijn om voor gewone agrarische nederzettingen de opslagcapaciteit te bepalen. De opslag hoeft immers helemaal niet bij de producent van het surplus plaats te vinden, maar eerder bij de ontvangende partij. Als dat zo is moeten er plaatsen zijn geweest met een zeer grote opslagcapaciteit, die als een soort surplusopslagplaats aangewezen kunnen worden. In de Bandkeramische cultuur zijn zulke plaatsen nooit gevonden, wat hoogstwaarschijnlijk betekent dat deze cultuur geen surplus produceerde. Voor de IJzertijd zijn er in het buitenland zeer fraaie voorbeelden; het zoeven genoemde Danebury in Engeland is er zo een.

Een duik in de verslagen van opgravingen op eigen bodem maakt duidelijk dat grootschalige graanopslag hier feitelijk nooit heeft plaatsgehad. Nederland was in de prehistorie geen rijk akkerbouwgebied. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de vitrines Prehistorie in bijvoorbeeld het Leidse Rijksmuseum van Oudheden u geen 'oh' en 'ah' zullen ontlokken. Wat daar ligt is hoogst interessant maar het is geen Toetanchamon. Pas met de komst van de Romeinen naar de Lage Landen begint het ergens op te lijken, maar toen werd er dan ook graan geïmporteerd. Dat is beschreven, maar is ook archeologisch traceerbaar. Een Romeinse officier liet in zijn toilet te Alphen aan den Rijn resten van elders geproduceerd graan na. De onkruiden in de graanlading van een bij Woerden gezonken Romeins schip duiden op een herkomst bezuiden de lijn Sittard-Gent.

Een graanschip bracht rijkdom, dat had ook de Vrouwe van Stavoren moeten weten. Dat graan had nooit overboord gemogen.

Literatuur

- Bakels CC. The settlement system of the Dutch Linearbandkeramik. *Analecta Praehistorica Leidensia* 1982; 15, 31-43.
 Bakels CC. On the location of the fields of the northwestern Bandkeramik. In: Bierma M, Harsema OH, Zeist W van, red, *Archeologie en landschap*. Groningen: 1988, 49-57.
 Brongers JA. Vaassen, een akkercomplex uit de IJzertijd. Bussum: Archeologische monumenten in Nederland 3, 1972.
 Jones G, Wardle K, Halstead P, Wardle D. Crop storage at Assiros. *Scientific American* 1986; 254: 3, 96-103

Bronvermelding illustraties

- Instituut voor Prehistorie, Leiden: 1
 Dr J.A. Brongers, gewijzigd: 2
 Fototheek Topografische Dienst, Emmen: 3
 Bob Brobbel/uit: Bloemers JHF, Louwe Kooijmans LP, Sarfatij H. *Verleden land*. Amsterdam: Meulenhoff Informatief, 1981: 4
 Aussenstelle Braunkohle, Rheinisches Landesmuseum, Bonn: 5
 Rijksmuseum voor Oudheden, Leiden: 7
 Ole Eshuis, Amsterdam/m.m.v. AFC Ajax, Amsterdam: 8
 Dr Jutta Meurers-Balke, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Universität zu Köln: 9
 Biologisch-Archaeologisch Instituut, RU Groningen: 11
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Dit artikel is een bewerking van de rede die de auteur op 19 mei 1989 hield bij het aanvaarden van haar professoraat.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

"HET PUBLIEK HEEFT RECHT OP KENNIS"

Analyse van drie jaar overheidsvoortlichting over wetenschap via de stichting PWT

JOOST VAN KASTEREN

De Stichting Publieksvoortlichting over Wetenschap en Techniek (PWT) draagt geen oplossingen aan voor alle problemen. Door overdracht van kennis proberen we het publiek voor te lichten over wat er gebeurt in wetenschap en techniek. We willen laten zien dat wetenschap en techniek ook mensenwerk zijn. En dat je als burger de richting van onderzoek kunt beïnvloeden." Aldus de korte geloofsbelijdenis van dr Marcel van de Broecke, directeur van de Stichting PWT. "Het is niet onze bedoeling om wetenschap en techniek op te voeren als *gadget*; als iets waarvan je de uitkomsten met bewondering of amusement kunt gade slaan. Dat soort voorlichting is ook nodig, maar dat laten we liever over aan Chriet Titulaer en zijn Wondere Wereld."

PWT is voortgekomen uit de erkenning van het recht van het publiek om te weten wat er aan de hand is in de wereld van wetenschap en techniek. Het *public's right to know*. PWT bestaat inmiddels drie jaar. Tijd om eens te kijken hoe het ermee staat.

Begin van de jaren tachtig zette het directoraat-generaal Wetenschapsbeleid van het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen zich aan het

onderwerp 'de integratie van wetenschap en techniek in de samenleving'. Voor de voorlichting aan het 'brede publiek' werd de Stichting PWT in het leven geroepen. Overigens was er in 1978 al een Dienst Wetenschapsvoortlichting opgericht, ondergebracht bij de Koninklijke Academie van Wetenschappen. De reden waarom de Dienst Wetenschapsvoortlichting indertijd is opgeheven is nooit echt duidelijk uitgesproken. Hans Hermans, het voormalige hoofd van de Dienst, klinkt nog steeds lichtelijk gefrustreerd als het daarover gaat. "Voorlichtingstechnisch", zo zegt hij, "zie ik geen redenen tot opheffing. Integendeel. Ik denk dat wij per bestede gulden meer activiteiten ontplooiden dan de Stichting PWT nu."

Tweeslachtig

De uitgangspunten van de Stichting PWT waren indertijd wat tweeslachtig. Enerzijds paste de oprichting ervan in de traditie van de jaren zeventig, zeg maar de kritische opstelling ten aanzien van wetenschap en techniek, vooral verwoord door het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. In die traditie past ook het *public's right to know*.

Anderzijds zou ook het ministerie van Economische Zaken, inmiddels verantwoordelijk voor het technologiebeleid, zijn steentje bij moeten dragen. Op EZ stond het woord 'innovatie' bij wijze van spreken op elke gangmuur. EZ dacht veel minder in termen van kritisch voorlichten en veel meer in termen van het scheppen van een draagvlak in de samenleving voor nieuwe technieken.

Volgens directeur Van den Broecke behoort die tweeslachtigheid inmiddels tot het verleden. Eerder is sprake van een synthese. "Enerzijds had je de euforie over technische mogelijkheden, anderzijds het pessimisme over gevolgen van technologische ontwikkelingen. Wetenschap en techniek zijn instrumenten, gereedschap dat zowel ten goede als ten kwade kan worden gebruikt. Wetenschap op zich is niet goed of kwaad; de vraag is hoe ga je ermee om." Toch vinden we de uiteenlopende verwachtingen van de PWT-peetvaders nog terug in de doelstellingen van PWT.

Intermedialair

Wat haar activiteiten betreft richt PWT zich enerzijds rechtstreeks tot het brede publiek en probeert men die

groepen te bereiken, die traditioneel weinig belangstelling hebben voor wetenschap en techniek.

Anderzijds probeert men dit te bereiken door financiële en andere vormen van steun aan 'intermediaire' doelgroepen. Daarbij moeten we denken aan organisaties zoals De Jonge Onderzoekers en de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

De media vormen eveneens een intermediaire doelgroep. Met name radio en TV worden financieel gesteund; de schrijvende pers wordt onder meer voorzien van de wekelijkse Wetenschapsagenda en kan een beroep doen op de overige faciliteiten van PWT, waaronder een uitgebreid documentatiesysteem.

Wetenschapslijn

Van de direct op het brede publiek gerichte activiteiten is vooral de nu één jaar oude Wetenschapslijn een succes. Gemiddeld krijgt PWT zo'n 75 telefoontjes per dag met de meest uiteenlopende vragen op het gebied van wetenschap en techniek. Dat varieert van 'waarom de hemel blauw is' tot een vraag over de bloeddruk van een compatieënt. Veel van de bellers zijn middelbare scholieren, waarvan weer een meerderheid bestaat uit VWO-leerlingen. Zij zijn vooral op zoek naar materiaal voor scripties. Om hen behulpzaam te zijn heeft PWT een aantal knipselmappen samengesteld met allerlei artikelen over veel gevraagde onder-

werpen zoals het gat in de ozonlaag.

Om ook andere dan VWO-scholieren te interesseren voor wetenschap en techniek begint PWT dit jaar met een project Sport en Techniek, vooral gericht op leerlingen van LBO en MAVO. Er zijn leerpakketten samengesteld, waarmee het thema vanuit verschillende vakgebieden (biologie, natuurkunde, scheikunde en maatschappijleer) wordt belicht.

Genoemd project is een van de kanalen om, zoals Van den Broecke het uitdrukt, het "Joop-van-den-Ende-publiek" te bereiken. Die mensen die niet direct – maar op den duur wel indirect – vanuit werk en/of opleiding worden geconfronteerd met wetenschappelijke en technische ontwikkelingen. Een ander project – nog in ontwikkeling – is het aanbieden van artikelen met 'huis-tuin-en-keukenwetenschap' aan de huis-aan-huisbladen. Van den Broecke: "Voor veertig procent van de Nederlandse volwassenen is het huis-aan-huisblad naast de TV de enige informatiebron".

Weer een ander kanaal naar het brede publiek zijn de 'publieksdagen' over een bepaald onderwerp. In februari bijvoorbeeld werd een congres georganiseerd over taal. Daar stond de wijze waarop taalgebruik maatschappelijk wordt bepaald centraal. Eind dit jaar wordt er nog een dergelijke *happening* georganiseerd rond het thema verkeer en vervoer.

Over het effect van die activiteiten valt nog weinig te zeggen. Er is (nog) geen onderzoek gedaan naar het rendement van die activiteiten in voorlichtingskundig opzicht. Dat wil zeggen naar de invloed van deze vormen van voorlichting op kennis, hou-



Dr Marcel van den Broecke, directeur van de Stichting Publieksvoorziening over Wetenschap en Techniek (foto: Jaap Herschel/t Sticht)

ding en gedrag van het brede publiek. Volgens Van den Broecke is dat PWT niet te verwijten. Uit gesprekken met hooggeleerde communicatiedeskundigen is hem gebleken dat het uiterst lastig, zo niet onmogelijk is om via onderzoek harde cijfers over het rendement van voorlichting te verkrijgen.

Voor de media vervult PWT vooral een ondersteunende rol. De waardering voor die steun varieert overigens nogal. Evenals indertijd de Dienst Wetenschapsvoorlichting brengt PWT een wetenschapsagenda uit. Dat wordt, aldus Van den Broecke, hogelijk gewaardeerd.

Anders ligt het met het blad *Iota*. In het blad probeert PWT, in de woorden van Van den Broecke, vooral aandacht te schenken aan die ontwikkelingen in de wetenschap die te weinig aandacht krijgen van de reguliere media. Men hoopt dat journalisten dergelijke onderwerpen alsnog oppikken. Een formele evaluatie van *Iota* is er niet, maar een informeel onderzoekje onder collega's levert op dat men niet kapot is van de inhoud ervan. Zeker voor een aantal aangesneden onderwerpen geldt dat het gebrek aan aandacht van de 'gewone' media, niet ontrecht is.

Reis

Een andere activiteit gericht op (wetenschaps)journalisten vormt de jaarlijkse reis van PWT naar een meer of minder ver buitenland. De eerste reis naar de Verenigde Staten was geen onverdeeld succes. De oorzaak daarvan was vermoedelijk vooral gelegen in het niveau van de deelnemende journalisten en het weinig inspirerende programma van de trip. Het gebrekkige niveau van de

deelnemers was overigens iets dat de stichting zelf had bevorderd door nogal nadrukkelijk journalisten van regionale bladen, vrouwenbladen en wat dies meer zij, uit te nodigen en de deelname van gevestigde wetenschapsjournalisten een beetje af te houden. De tweede reis, naar de Sovjet Unie, was redelijk succesvol (200 artikelen), maar bracht aan het licht dat journalisten ook verschillende belangen hebben. Enkele artikelen over de reis werden, nog tijdens de reis, door de ANP-correspondent naar Nederland geseind en via het 'net' verspreid onder de dagbladen. Als de journalisten van de dagbladen



PWT wil ook graag het Joop-van-den-Ende-publiek bereiken met voorlichting over wetenschap

een onderwerp aandroegen – vaak enkele dagen later, omdat ze wat meer diepgang wilden brengen – kregen ze van hun eigen redacties te horen dat het allang geen nieuws meer was.

De derde reis ten slotte, vorig jaar naar West-Duitsland, werd in het vakblad *De Journalist* bekritiseerd door een van de deelnemers. PWT zou de reis slecht hebben voorbereid; voor de journalisten was geen of onvoldoende informatie vooraf beschikbaar, terwijl op de plaats van bestemming de komst van de groep in één geval zelfs een complete verrassing was. Achteraf zegt Van den Broecke dat hem niet is gebleken dat alle deelnemers er zo over dachten. Toch is een gezamenlijke reis van journalisten misschien niet zo geslaagd, meent hij. "Een dergelijke groep is zo uiteenlopend wat interesse en belangen betreft;

als je die allemaal tevreden wilt stellen, dan ben je op zoek naar de kwadratuur van de cirkel."

In het werkplan van 1990 wordt nog een reis aangekondigd voor dit jaar, maar de Stichting PWT heeft in februari jongstleden besloten geen collectieve uitstapjes meer te organiseren. Journalisten kunnen nu, mits zij beschikken over een goed plan en een duidelijke begroting, een individuele reisbeurs aanvragen bij PWT.

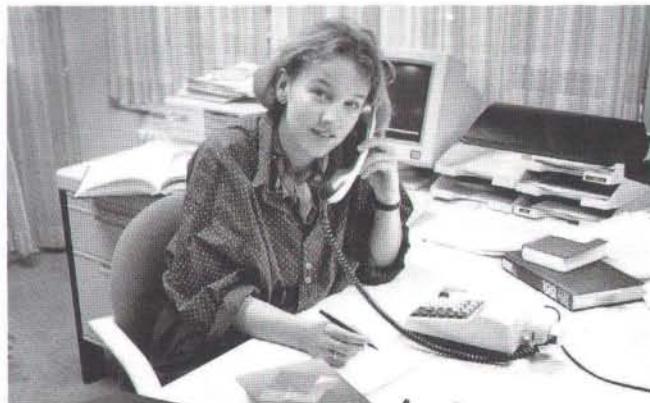
Televisie

Naast de schrijvende pers, geeft PWT steeds meer aandacht aan andere media. Het is onderzoekers en beleidsmakers allang een doorn in het oog dat de Nederlandse televisie en radio zo weinig doen aan wetenschapsjournalistiek en -voorlichting. Als ze al wat doen, gebeurt dat op een der-



Of de gesubsidieerde programma's er uiteindelijk toe leiden dat radio en TV meer aandacht gaan schenken aan wetenschap en techniek valt nog niet te overzien. Het tijdstip waarop beide eerstgenoemde programma's worden uitgezonden wijst ertop, dat de betreffende omroepen wetenschap en techniek nog steeds niet beschouwen als publiekstreker.

Van de vijf miljoen gulden die PWT jaarlijks heeft te besteden gaat ongeveer 3,5 miljoen zitten in het ondersteunen van activiteiten van 'andere' groepen. Daarbij gaat het onder meer om de al genoemde programma's op radio en televisie.



De journalistenreizen van PTW bleken niet zo succesvol, maar de Wetenschapslijn loopt als een trein (foto: Andrea Heijmans/PTW (boven) en Henk Tukker/'t Sticht)

mate knullige manier dat de geïnteresseerde kijker zijn tenen bij elkaar knijpt van plaatsvervangende schaamte. PWT subsidieert een tweetal wetenschapsprogramma's op televisie, te weten *Concept* van de NCRV en *Impact* van de VARA. Daarnaast subsidieert PWT de actie *Kijk op Techniek*, waarvan het gelijknamige KRO-programma deel uitmaakt.

sie, maar ook om groepen als De Jonge Onderzoekers, de wereld van de 'sterrekijkers', de amateur-astronomen dus, de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij en manifestaties zoals de Nationale Wetenschapsweek.

Ook steunt de stichting symposia en congressen, zowel financieel als met raad en daad. Voor het overgrote deel gaat het om groepen die zich bevinden aan de 'zender'-kant,

groepen die dicht tegen de wetenschap aanliggen. Huisvrouwenverenigingen, vakbonden (behoudens een themanummer van FNV-magazine, vorig jaar) en andere organisaties van het brede publiek doen hoogst zelden een beroep op PWT.

De subsidie van PWT is nooit structureel. Van den Broecke. "Je moet het zien als verschaffen van risico-kapitaal. Op den duur moeten de activiteiten elders bronnen voor financiering aanboren."

Op zich lijkt dat alleszins redelijk. Voor een organisatie als De Jonge Onderzoekers of de Nationale Wetenschapsweek kan de tijdelijkheid van de financiering op den duur problemen opleveren. Volgens een woordvoerder van DJO is men niet echt gelukkig met de tijdelijke financiering; men is meer tijd kwijt met het zoeken van financiers dan met het eigenlijke werk. Voorlopig kan DJO overigens weer twee à drie jaar vooruit. Van den Broecke zegt zich het vuur uit de sloffen te hebben gelopen om de activiteiten van de overkoepelende instantie, Jeugd en Techniek in Lelystad, door diverse ministeries gefinancierd te krijgen. Hoe het na afloop van die financiering verder moet is nog onduidelijk.

In andere landen is het niet ongebruikelijk, dat het bedrijfsleven activiteiten als DJO sponsort. In West-Duitsland bijvoorbeeld wordt een uitvinderswedstrijd van jonge onderzoekers met enkele miljoenen D-marken gesponsord in het kader van de *Begabtenbildung*. In Nederland zijn bedrijven helaas bijna volledig gefixeerd op shirtreclame. Kunstsponsoring begint van de grond te komen, maar jonge onderzoekende geesten financieel steunen is er vooralsnog niet bij.

De tijdelijkheid van de subsidie lijkt ook problemen op te gaan leveren voor de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij. Joyce Birkfelder, directrice van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij, ontneemt dat overgens. Volgens haar is er niets aan de hand. Birkfelder: "Vroeger werden we rechtstreeks gefinancierd door het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. Nu komt het geld via PWT", zegt zij over de telefoon. "Van eventuele problemen is mij niets bekend".

Enige navraag leert dat de zaak toch iets gecompliceerder ligt dan zij zegt. Om niet te zeggen dat PWT behoorlijk in haar maag zit met de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

De bekende Cahiers van de Stichting bijvoorbeeld, werden tot voor kort uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV in Maastricht, beter bekend als de uit-

gever van dit blad. Na afloop van de dertiende jaargang is de samenwerking tussen uitgeverij en stichting echter stopgezet. "Met bloedend hart", aldus Theo Martens, hoofdredacteur van Natuur en Techniek.

De Stichting wil nu zelf de Cahiers gaan uitgeven, maar zonder een structurele subsidie van PWT, lijkt dat vooral nog niet haalbaar.

Strategie

PWT heeft indertijd ambitieuze doelstellingen meegekregen van haar peetouders. Peetouders (Economische Zaken en Onderwijs en Wetenschappen), die het zelf niet eens waren. Toch is er een groot aantal activiteiten in gang gezet, waarvan een aantal tamelijk succesvol is, zoals de Wetenschapslijn. Andere activiteiten zijn minder succesvol (de journalistenreizen bijvoorbeeld) of zijn een regelrechte flop. Als voorbeeld van dat

laatste noemt Van den Broecke de stand voor tentoonstellingen.

Een punt van kritiek is dat PWT in haar activiteiten lijkt uit te gaan van het adagium *anything goes*. Er is weinig of geen lijn te ontdekken in de activiteiten. Dat is natuurlijk ook lastig als je wordt opgeschept met zulke vage doelstellingen als het scheppen van een 'evenwichtig maatschappelijk draagvlak etcetera'. Een gevolg daarvan is wel dat PWT, als organisatie, nog geen duidelijk gezicht heeft; de komende jaren zal ze dan ook haar draai nog moeten vinden. De tijd daarvoor is kort, want de evaluatie van het 'experiment PWT' vindt al over ruim een jaar plaats.

Samen met de Rabobank

Een bijzonder project, dat PWT het komende jaar op de rails zet, is een voorlichtingscampagne over biotechnologie. Bijzonder, omdat de aanzet ertoe afkomstig is van de Rabobank. Deze bank vindt een groot deel van zijn cliëntèle onder boeren. Daarnaast is zij actief bij het financieren van biotechnologie-activiteiten. Heeft daar zelfs een apart Biotech Venture Fund voor opgericht.

Vanuit de eigen achterban wordt de Rabobank regelmatig aangesproken op haar activiteiten op het gebied van de biotechnologie. Zo woedde vorig jaar in het *Agrarisch Dagblad* een briefwisseling tussen de Rabobank en de Vereniging voor Biologisch-dynamische Landbouw over de financiering van Embrytec, een firma die runderembryo's produceert en verhandelt.

De Rabo-bank heeft PWT eind vorig jaar gevraagd of zij niet het voorouw zou kunnen nemen voor een omvangrijke voorlichtingscampagne over biotechnologie. PWT heeft daar positief op gereageerd.

Desgevraagd zegt PWT-directeur Van den Broecke, dat er geen sprake van is dat PWT zijn onafhankelijkheid nu voor een bord linzen verkwantelt aan de Rabo.

Van den Broecke: "De voorzitter van het bestuur, Prins Claus, en ik hebben met Wijffels (directeur Rabobank) gepraat en we zijn overtuigd geraakt van de honorabele bedoelingen van de bank. Wijffels heeft ons gezegd dat de Rabobank zich zorgen maakt over de trage politieke besluitvorming rond biotechnologie. Die traagheid wordt veroorzaakt door onduidelijkheid bij het publiek over wat biotechnologie nu eigenlijk is. Onze voorlichting zou een impuls moeten geven aan de maatschappelijke discussie over biotechnologie."

"Vermeden moet worden", zo vervolgt Van den Broecke, "dat over biotechnologie eenzelfde door emoties gevoede discussie ontstaat als over kernenergie. Als de emoties de besluitvorming teveel beïnvloeden krijg je slechte beslissingen."

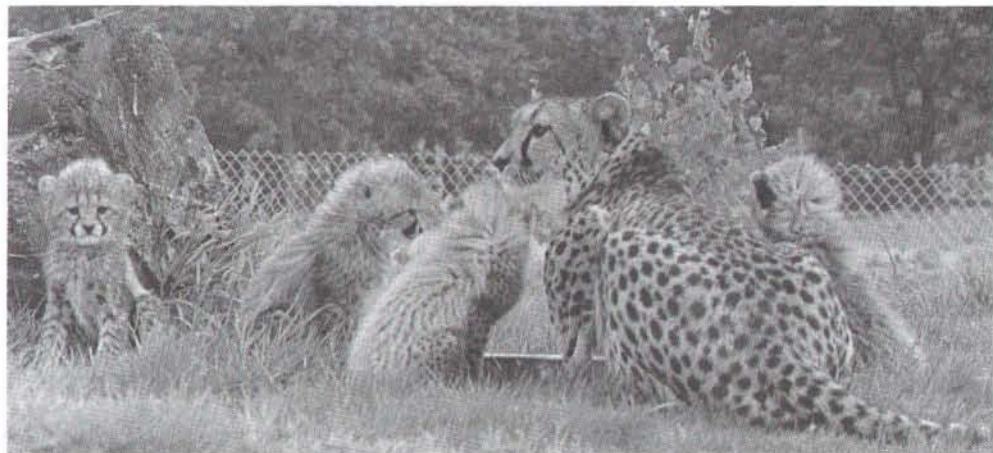


DIGITALE PARTNERKEUZE



Hoe de dierentuinen met de computer gezelschap voor hun beesten zoeken

PETER DE JAEGER



Dierentuinen halen geen dieren meer uit het wild om hun collectie aan te vullen. Soms is dat eenvoudigweg omdat er van de gewenste diersoort geen exemplaar meer te vinden is in de vrije natuur, zoals het Przewalskipaard en Pater-Davids-hert. Van de bedreigde diersoorten blijft men sowieso liever af, maar dat geldt ook voor dieren die in het land van herkomst een plaag kunnen vormen.

Volgens drs Frank Princee van de Stichting Nationaal Onderzoek Dierentuinen (NOD) zijn de opvattingen over dieren veranderd: "Als je geen dieren uit het wild hoeft te halen dan moet je het ook niet doen. Want het vangen is geen pretje voor een dier. Vangstmethode, trans-

port en onderbrengen van een dier in een nieuwe omgeving, zoals dierentuin of reservaat, kan soortsafhankelijk een hoge mate van stress opleveren." Volgens Princee is de resterende fauna het meest gebaat bij een gericht natuurbepaal. "In de gezamenlijke Europese dierentuinen heb je in totaal misschien duizend verschillende soorten. Dat is nog maar een handjevol van wat echt op uitsterven staat. Dus de functie van een dierentuin om bedreigde diersoorten te redden en een soort Ark van Noach te worden kun je al lang niet meer waarmaken. Voor zover dat ooit mogelijk was, is het daar nu al veel te laat voor. De functie van een moderne dierentuin ligt voor een belangrijk deel in de educatieve sfeer. De dieren in die-

Een jachtluipaard met haar jongen in een safaripark
(foto: Jan van Teeffelen)

rentuinen zijn de ambassadeurs van hun wilde soortgenoten. Ambassadeurs die de noodzaak tot natuurbescherming uitdragen."

Inleit

Om datgene wat de dierentuinen bezitten te behouden worden fokprogramma's opgesteld. Voor Nederland doet dat de Stichting Nationaal Onderzoek Dierentuinen (NOD). De stichting is een samenwerkingsverband van de negen dierentuinen aangesloten bij de Nederlandse Vereniging van Dierentuinen. De oprichting van het NOD, in

mei 1988, werd mede mogelijk gemaakt dankzij financiële steun van het ministerie van Landbouw en Visserij. Fokprogramma's helpen bij het bij elkaar brengen van geschikte partners. De partnerkeuze is gebaseerd op een nauwkeurige registratie van diergegevens in de computer. 'Fokken per computer' voorkomt inteelt en garandeert een gezonde voortplanting. Per dierentuin zijn er vaak slechts enkele exemplaren van een soort. Dat is op den duur onvoldoende om inteelt te vermijden. Om die reden worden dieren uitgewisseld tussen dierentuinen. Voorts is het noodzakelijk om het verlies in genetische variatie in de totale dierentuinpopulatie te beperken. Princee: "Je kunt de gezamenlijke dierentuinen zien als een eiland dat door kleine populaties van verschillende diersoorten is gekoloniseerd. In de natuur bestaat er altijd de kans dat een aantal individuen van een soort die een nieuw eiland bevolken, het niet redden. Maar in de dierentuin wil je de kans dat een populatie uitsterft beperken en ga je zoveel mogelijk op safe spelen. Derhalve worden er fokprogramma's opgesteld."

Binnen Nederland is er bijvoorbeeld een afspraakje geregeld tussen de nijlpaarden Harry uit Rotterdam en Julia uit Emmen. Ook tussen verschillende landen vindt uitwisseling plaats om de gewenste genetische mix te verkrijgen. Zo is er ingevroren sperma van een mannetjespanda uit Londen naar Madrid gevlogen om een vrouwtje te bevruchten. Er worden zelfs dieren uit verschillende continenten met elkaar gekoppeld. Een voorbeeld is de zeldzame okapi, waarvan op het ogenblik zestig dieren in dierentuinen leven. Deze

kwetsbare soort heeft een klein verspreidingsgebied en komt alleen voor in het Ituriwoud van Zaire. Als dit oerwoud verdwijnt dan is het gedaan met de okapi in het wild.

Natuurlijke voortplanting

Waarop is de uitwisseling gebaseerd?

Princee: "In het fokprogramma bepaal je welke combinaties wenselijk zijn, louter op basis van behoud van genetische variatie. Er wordt dus nadrukkelijk niet geselecteerd op bepaalde uiterlijke kenmerken. Die kleine tijger uit Sumatra is net zo goed als zijn grote soortgenoot. Dat is dus anders dan bijvoorbeeld in de fok met gezelschapsdieren. Daar wordt vaak streng geselecteerd op allerlei voor de mens 'fraise' kenmerken. Met name als slechts enkele dieren voor de fok gebruikt worden, levert dit vroeg of laat problemen op. Bij verscheidene honderassen nemen de inteeltverschijnselen hand over hand toe. Men zou er goed aan doen, minder selec-

tief te zijn en meer dieren in de fok op te nemen."

"Natuurlijk fokken is ons uitgangspunt. Want het is goed voor de dieren dat ze op een normale manier jongen kunnen krijgen. Voortplanting is een wezenlijk onderdeel van de natuur dat we aan de mensen willen laten zien. Dus geen dieren in een stal, maar een groep, en zoveel mogelijk in een levensechte omgeving. Zo heeft men bij het verblijf van de manenwolven in Artis twee jaar lang het gras niet gemaaid. De oortjes van de jonge wolven steken nauwelijks boven het gras uit."

"Maar er is een categorie dieren waarbij voortplanting in gevangenschap onmogelijk is. Neem de nevelpanter. Daarbij maakt na de paring het mannetje het vrouwtje af. In de natuur gaan ze gelijk uit elkaar. Voor die soorten is kunstmatige inseminatie (KI) een uitkomst. Dat gebeurt echter op heel kleine, experimentele schaal. Voor alle soorten die verwant zijn met de landbouwhuisdieren is de KI-techniek niet zo moeilijk,

Kunstmatige inseminatie en embryotransplantatie staan binnen de dierentuinen nog in de kinderschoenen



De geboorte van een okapi
(foto: V. Six/
Zoo Antwerpen)



■ Drs Frank Princee (foto: Mark Kohn/Hollandse Hoogte)

omdat er al zoveel expertise over bestaat binnen de vee teelt. In Blijdorp zijn geslaagde KI-experimenten uitgevoerd met kraanvogels. Maar bij andere dieren ligt dat ingewikkelder. De samenstelling van de opslagvloeistof voor het sperma en de wijze van ontdooien is voor iedere soort anders en moet eerst experimenteel worden vastgesteld." Ook embryotransplantatie staat nog in de kinderschoenen. Je hebt dan een draagmoeder van een verwante diersoort nodig. Zo heeft men in Cincinnati met succes de elandantilop als draagmoeder voor de zeldzame bongantilop gebruikt. Dergelijke experimenten zijn ook uitge-

voerd met huispaarden als draagmoeder voor zebra's en Przewalskipaarden. Idee achter embryotransplantatie is dat je de populatie heel snel kunt vergroten. Met deze techniek kan men enkele tientallen borelingen krijgen, terwijl dat er normaal hooguit twee of drie zijn. Princee ziet KI en embryotransplantatie overigens niet als de oplossing voor het collectiebehoud. Het zijn eerder hulpmiddelen om het bestand sneller uit te breiden. De oplossing dient vooral gezocht te worden in het natuurlijk fokken van diersoorten. Volgens Princee bestaat het gevaar dat de biologen zich te veel concentreren op kunst-

matige voortplantingstechnieken en niet meer bekijken hoe de nakomelingen op een natuurlijke wijze kunnen worden verkregen. "Onderzoek naar de reden waarom een diersoort niet fokt is vaak belangrijker dan het vele genetische onderzoek", meent hij. Princee constateert overigens, enkele uitzonderingen daargelaten, een kloof tussen het onderzoek aan de universiteit en dat in de dierentuin. "De biologie is heden ten dage opgesplitst in vele gespecialiseerde vakgebieden. Dit maakt het moeilijk om praktijkvragen waar wij als dierentuinbiologen mee worstelen zonder meer in universitair onderzoek om te zetten. De praktijkvraag dient als het ware vertaald te worden in een groot aantal subvragen die aansluiten bij de verschillende vakgebieden. Dat betreft niet alleen voortplanting, maar ook huisvesting en voeding."

Familie van elkaar

Bij het opzetten van een fokprogramma moet je in de gaten houden welke dieren met elkaar hebben gepaard, vooral om intelect te voorkomen. Hiervoor zet de Stichting een databank op. Een fokprogramma begint daarom met de registratie van alle aanwezige dieren. Binnen Nederland werken alle tuinen met een universeel computerpakket dat de dierregistratie binnehuis verzorgt. Koppeling van de gegevens van de negen tuinen gebeurt door de Stichting, die op het terrein van Artis huist, en begint in januari 1990 te draaien. Centraal kan worden nagegaan of bepaalde soorten gevaar lopen binnen Nederland. Of misschien zijn er soorten die het zo goed doen dat je er iets mee kunt doen voor andere landen. Per soort is er inter-

nationaal gegevensuitwisseling mogelijk binnen Europa, maar ook met andere continentaal. De centrale computer staat in Minneapolis, Minnesota. Op die manier kunnen straks de gegevens van alle dierentuinen ter wereld met elkaar worden gekoppeld via de telefoon.

Binnen Nederland is de Stichting nog druk bezig met inventarisatie van alle aanwezige dieren. Voor enkele dieren met fokproblemen zijn fokprogramma's opgesteld, bijvoorbeeld voor het stokstaartje, een civetkatachtige. "Vroeger sloeg je als het ware een kratje in als na verloop van tijd de fok stil kwam te liggen. De familieverwantenschap werd nooit secuur bijgehouden. Bij inventariseren van de Nederlandse tuinen, een aantal jaren terug, bleek dat een groot aantal stokstaartjes familie van elkaar was. Deze inventarisatie is de basis geworden voor een fokbeleid, waarbij de dierentuinen volgens bepaalde richtlijnen dieren uitwisselen. Uit de inventarisatie van de kroonkraanvogels bleek iets soortgelijks. Van deze tropische vogel zijn relatief grote groepen in dierentuinen aanwezig. Dat is wel leuk, die grote aantallen, maar van bijna driekwart bleek het geslacht onbekend. Het verleden leert dat je soms wel genoeg dieren hebt, maar dat slechts een kleine groep voor nakomelingen zorgt. Na de inventarisatie is men binnen de dierentuinen zeer actief geweest met het sexen van de vogels door middel van karyotypering of laparoscopie en het samenstellen van fokparen." De cheetah of het jachtlui-paard is een goed voorbeeld van de te verwachten problemen bij onvoldoende genetische variatie. Deze dieren zijn zeer gevoelig voor verscheide-

ne virusziekten die binnen katachtigen voorkomen. Dergelijke ziekten worden vaak door huiskatten overgebracht. In Noord-Amerika heeft een dierenpark in een jaar tijd een twintigtal cheetahs verloren aan de virusziekte FIP.

Princee: "De dieren blijken gewoon klonen van elkaar te zijn, dus allemaal vatbaar voor dezelfde ziektes. Het inkruisen van genetische variatie is in dat geval vrijwel niet meer mogelijk. Overleving van deze soort is dan helemaal afhankelijk van het leefmilieu. Een geluk is dat de cheetah een vrij solitair bestaan leidt. Hij komt niet veel soortgenoten tegen en mijdt bijvoorbeeld gebieden waar leeuwen zitten, mogelijke overdragers van virusinfecties. Maar stel dat een aantal gedomesticeerde katten in een gebied terechtkomt waar cheetah's zitten en het daar reden. Dat zou fataal zijn. Dit gevaar is levensgroot in een dierentuin waar altijd wel eens een kat binnensluipt."

Vlees van de slager

Wanneer is volgens u die voldoende genetische variatie bereikt?

Princee: "Volgens het theoretisch plaatje heb je bij 500 dieren van een soort voldoende potentieel om binnen twee eeuwen 90 procent van de genetische variatie over te houden. Per generatie verlies je door toeval genetische variatie. Dus hoe groter de populatie hoe kleiner het verlies. Naarmate een dier korter leeft, heb je meer generaties en verlies je meer. Van olifanten heb je er minder dan 500 nodig omdat die dieren zo lang leven. Voor de gewenste aantallen per soort bestaan genetische modellen." Na twee eeuwen is er mis-

schien voldoende potentieel om wat terug te zetten. De genetische samenstelling van de groep is dan zodanig dat ze veranderingen in het wild voldoende kunnen oppangen om te kunnen overleven. In het wild verandert de situatie namelijk steeds. Virusziektes zijn een sprekend voorbeeld. Ieder jaar is er een nieuwe variant van het griepvirus. Dat geldt ook voor dierlijke virusziekten.

Van bepaalde soorten zijn er nu al met succes een aantal teruggezet in hun natuurlijke habitat. Zo zijn er oryxen (zeldzame antilopen) teruggebracht naar Oman, Jordanië en Israël, condors zijn opnieuw uitgezet in het Andesgebergte en wisenten in Polen. Bij sommige soorten zitten er echter nogal wat haken en ogen aan herintroductie. Zo zitten er in Amerika momenteel meer Siberische tijgers in gevangenschap dan in heel Siberië. Toch zal dit roofdier niet meer worden teruggezet.

Princee: "Een tijger die mensen kent is levensgevaarlijk. Hij zal gemakkelijker een nederzetting bezoeken en daar eens wat oppeuzezen, met gevolg dat de plaatselijke bevolking hem neerknalt. Tevens is hij niet meer in staat op eigen houtje een prooi te vangen. Want in de dierentuin krijgt hij vlees van de slager. Je kunt een roofdier in gevangenschap niet trainen om een hert op te sporen en te vangen. In enkele Amerikaanse dierentuinen heeft men wel eens een trainingsprogramma opgezet door cheetah's met levende geiten te voeren. Maar dat lukt in mijn ogen niet. Die geiten staan stomp-zinnig te wachten tot het roofdier hen pakt en levend verscheurt. Een geit reageert nu eenmaal anders dan een prooi in het wild."

"Bovendien is het maar de vraag of er nu nog een gebied bestaat waar je de dieren terug kunt zetten in hun oorspronkelijke biotoop. Het kan vaak alleen nog in semi-reservaten of op een heel ander terrein dan waar ze ooit hebben gezeten. Bepaalde antilopen doen het bijvoorbeeld in Arizona uitstekend, terwijl ze oorspronkelijk uit de Sahara komen.

Rommelen

Fokprogramma's worden ook belangrijk voor een optimaal natuurbeheer, vindt Princee. "Bij natuurbeheer wordt hieraan nog niet altijd gedacht. Maar het aantal natuurgebieden wordt meer en meer versnippert. Terwijl er van een bepaalde soort genoeg dieren aanwezig kunnen zijn, dreigen zij verdeeld te worden over kleine geïsoleerde reservaten. Je steekt je hoofd in het zand als je denkt dat iets gered is wanneer een klein gebied tot natuurreervaat is verklaard. Een uitwisselingssysteem tussen kleine reservaten wordt dan noodzakelijk. De beheerders vinden uitwisseling niet geheel passen. Als het om dieren gaat heeft men moeite met ingrijpen. Want het is inderdaad controversieel: rommelen in een stuk natuur dat je net hebt gered. Maar het is een gedachte die men toch zal moeten prijsgeven voor het behoud van de natuur. De natuurbeheerders kunnen gebruik maken van de ervaring met fokprogramma's die in dierentuinen is opgedaan."

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,
1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

R.A. Bodden-Welsch.

Telefoon: 0(0-31) 43 254 044.

Telefax: 0(0-31) 43 216 124.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK. Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31) 43 254 044.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): / 112,50 of 2200 F. Voor drie jaar: / 265,— of 5195 F. Prijs voor studenten: / 85,— of 1660 F.

Overige landen: + / 35,— extra porto (zeepost) of + / 45,— tot / 120,— (luchtpost).

Losse nummers: / 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:
BetapressBV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementjaar.

Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDSD kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 4.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

Aminozuur-trio II

In Natuur & Techniek (1, 1990) staat een kort verslag over mijn promotie-onderzoek, dat enige toevoeging behoeft.

Het lichaam kan een tekort aan essentiële bouwstenen aanvullen door autofagie. Het proces verloopt als volgt: delen van de cel (cytosol en hele organellen) worden omsloten door een membraan. Het aldus gevormde *autofagosoom* fuseert vervolgens met een lysosoom. Op deze manier komen lysosomale enzymen in aanraking met het af te breken materiaal. Cellen kunnen de afbraakproducten gebruiken voor de opbouw van nieuwe celonderdelen of, in de lever, voor de productie van glucose ten behoeve van de hersenen. Hormonen en aminozuren, de fysiologische regulatoren van het proces, beïnvloeden voornamelijk de eerste stap van de autofagie.

In de afdeling Biochemie op het Academisch Medisch Centrum onderzochten wij de regulering van autofagie door aminozuren in geïsoleerde rattelevercellen. Daarbij bleek dat hoge *intracellulaire concentraties* van slechts drie van de twintig voorkomende aminozuren nodig zijn om het proces effectief te remmen: leucine, aspartaat en glutamaat. Door toevoeging van leucine in de fysiologische zoutoplossing, waarin de levercellen worden geïncubeerd, stijgt ook de intracellulaire concentratie van dit aminozuur. Deze cellen nemen aspartaat en glutamaat echter niet uit het medium op vanwege de impermeabiliteit van de celmembraan voor deze twee aminozuren. Intracelulair kunnen deze aminozuren zeer goed worden gevormd uit alanine, asparagine, glutamine of proline, die wel goed vanuit het medium door de celmembraan heendringen.

Dr Heleen Caro

SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier



Een weergave van een perfecte zaagtandfunctie en een zaagtandfunctie met duidelijke uitschieters op de plaats van de sprong.

Zaagtand

Het artikel van H.M. Nieland op pag. 178 is een goede aanleiding voor een paar kanttekeningen bij de Fourieranalyse. Met de computer zijn we niet alleen in staat die analyse in praktische situaties beter en nauwkeuriger uit te voeren dan vroeger het geval was, maar ook kan de computer ons helpen het inzicht te ondersteunen. We weten dat nagenoeg elke periodieke functie $f(x)$ met periode 2π kan worden opgevat als een som van zuiver harmonische termen van de vorm $\sin(nx)$ en $\cos(nx)$, waarbij n een natuurlijk getal is. Men kan zich afvragen hoe goed dat in de praktijk gaat en welke fout ontstaat bij een afgebroken Fourierreeks. Men kan zich voorstellen dat een functie met spongen gevoeliger is voor fouten dan een gladde functie, waarbij we maar in het midden laten wat dat precies betekent. We nemen concrete voorbeelden van eenvoudige functies waarvoor de coëfficiënten van de Fourierreeks bekend zijn.

We beginnen met de zaagtandfunctie $f(x) = (\pi - x)/2$, gedefinieerd voor $0 < x < 2\pi$ en verder periodiek voortgezet. Daarvoor geldt:

$$f(x) = \sin(x) + \sin(2x)/2 + \sin(3x)/3 + \sin(4x)/4 + \dots$$

We hebben hier te maken met een interessant probleem uit de klassieke elektronica. Hoe kunnen we een zaagtand-

spanning realiseren door een samenstel van harmonische trillingsketens? Theoretici verzekeren ons dat deze Fourierreeks voor alle waarden van x convergeert. Nu maakt $f(x)$ bij het passeren van $0 = x$ een sprong van $-\pi/2$ naar $+\pi/2$ en die sprong herhaalt zich periodiek. Volgens de theorie convergeert de reeks tot 0, precies halverwege de sprong. We kunnen ons hier door rechtstreekse substitutie snel van overtuigen. Experimentatoren namen echter iets vreemds waar: op hun oscilloscoop zagen ze, in plaats van een gewone zaagtand een functie met uitschieters op de plaatsen van de sprong verschijnen. Dit fenomeen draagt de naam van de wiskundige Gibbs, die het verschijnsel lang geleden heeft onderzocht en beschreven. Wij gaan dit verschijnsel als moderne mensen simuleren met de computer. Daartoe gebruiken we het volgende programma, waarin we de gegeven Fourierreeks zullen afbreken bij een vooraf gekozen rangnummer.

In het programma FOURIER1 wordt de benadering in het interval $-2\pi < x < 2\pi$ weergegeven, waarbij x met kleine stappen voortschrijdt. De grootte van de stap, $\pi/200$, is enigszins willekeurig gekozen – men kan ook experimenteren met de stapsnelheid. Wanneer we echter voor m een vrij grote waarde invullen dienen we de staplengte aan deze waarde aan te passen. Wanneer men de Fourierreeks bij voorbeeld $m = 16$ afbrekt, verschijnt er een golfpatroon op de zaagtandgrafiek. Inderdaad ziet men de grootste afwijkingen juist in de omgeving van de spongen. Wie voor m steeds hogere waarden neemt ziet een opeenhoping van rimpels bij de spongen. We worden hier op experimentele wijze geconfronteerd met het fenomeen van Gibbs: de zijdelings samengedrukte rimpels vormen precies de in de vorige grafiek vertoonde uitschieters. Bij theoretische analyse van het verschijnsel blijkt de grootte van de uitschieters onafhankelijk te zijn van het moment waarop we de Fourierreeks afbreken.

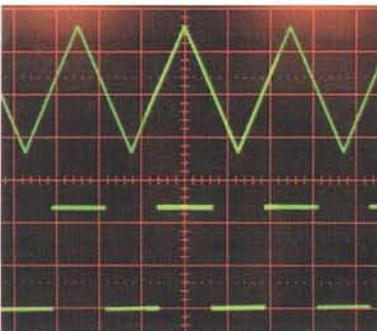
```
10 REM ***SOMMEREN VAN EEN FOURIER REEKS***
20 REM ***NAAM:FOURIER1***
30 SCREEN 9 : CLS
40 PI=3.141593
50 INPUT"AFBREEKWAARDE M =",M
60 WINDOW (-8,-3)-(8,3)
70 CLS
80 S=0
90 LINE (-2*PI,0)-(2*PI,0)
100 PSET (-2*PI,0)
110 FOR X=-2*PI TO 2*PI STEP PI/200
120 S=0
130 FOR K=1 TO M
140 S=S+SIN(K*X)/K
150 NEXT K
160 LINE -(X,S)
170 NEXT X
180 LINE -(2*PI,0)
190 END
```

Het spectrum van een functie

Met de computer kan men natuurlijk nog veel meer doen. Ter illustratie van wat mogelijk is, stellen we het praktische probleem van het bepalen van het spectrum van een gegeven periodieke functie. We willen dus nagaan welke intensiteit een hogere harmonische term als $\sin(nx)$ of $\cos(nx)$ in de gegeven periodieke functie vertegenwoordigd is. Het antwoord is gegeven in het programma FOURIER2. We nemen aan dat daarin een willekeurige te kiezen functie $f(x)$ in formulevorm gegeven is ($\text{DEF } FNA(x)$). Het basisinterval is $0 < x < 2\pi$, met daarbuiten periodieke voortzetting. De Fourierreeks van $f(x)$ is opgebouwd uit termen van de vorm

$$a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)$$

waarbij n van 0 tot oneindig loopt. Het maken van een spectrum, hier een lij-

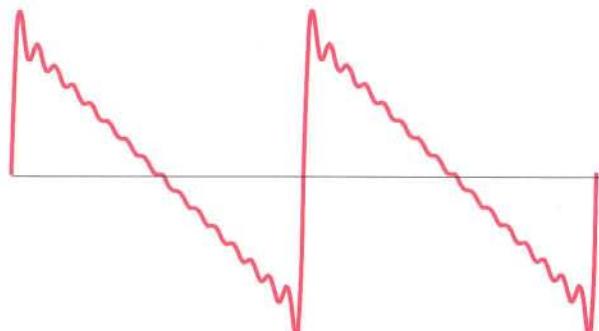


nenspectrum, betekent gewoon dat we voor elk rangnummer n vanaf $n=0$ tot een vooraf gekozen waarde m , de intensiteit $\sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}$ berekenen of in grafische vorm afbeelden. Daartoe moet het programma een aantal coëfficiënten a_n en b_n bepalen door hun klassieke integralvoorstellingen numeriek te integreren. Hier gebeurt dat met de trapeziumregel, de eenvoudigste methode, die heel doeltreffend is zolang het integratie-interval, dat van 0 tot 2π loopt, in een voldoend aantal stukjes wordt verdeeld. In de praktijk kiezen we een aantal van 10 tot 100 stukjes. Hoe groter het aantal stukjes, hoe nauwkeuriger de berekening is, maar ook hoe meer tijd de computer nodig heeft. Wie alleen maar een globale indruk wil hebben beperkt het aantal coëfficiënten tot bijvoorbeeld 16 en neemt 32 tussenstapjes voor de numerieke integratie. Ook hierbij kan men naar hartelust experimenteren en onderzoeken hoe de nauwkeurigheid afhangt van de wijze van numerie-

```

10 REM ***FOURIER COEFFICIENTEN***
20 REM ***SPECTRUM VAN EEN FUNCTIE***
30 REM ***NAAM:FOURIER2***
40 SCREEN 9 : CLS
50 INPUT "AANTAL COEFFICIENTEN -", M
60 INPUT "AANTAL STAPPEN NUMERIEKE INTEGRATIE -", S
70 DIM A(M), B(M)
80 CLS : WINDOW (-1,-1)-(1,1), 4
90 LINE (0,0)-(M,0)
100 PI=3.141593
110 H=2*PI/S
120 REM ***STAPLENTE NUMERIEKE INTEGRATIE***
130 DEF FNA(X)=(PI-X)/2
140 FOR N=0 TO M
150 A=0 : B=0
160 FOR K=0 TO S-1
170 A=A+H*((FNA(K*H))*COS((K*N*H)
+ FNA((K+1)*H))*COS((K+1)*N*H))/2
180 B=B+H*((FNA(K*H))*SIN((K*N*H)
+ FNA((K+1)*H))*SIN((K+1)*N*H))/2
190 NEXT K
200 A(N)=A/PI : B(N)=B/PI
210 LINE (N,0)-(N,SQR(A(N)*A(N)+B(N)*B(N)))
220 NEXT N
230 END

```



ke integratie. Het onderstaande programma zal na deze toelichting wel geen nadere uitleg behoeven. Voor de zaagtandfunctie resulteert dit programma in een reeks in lengte afnemende verticale lijnen. Omdat men daarbij de coëfficiënten precies kent (de intensiteit van de n -de component is omgekeerd evenredig met n) kan men het programma daaraan nog toetsen.

Om de lezer in staat te stellen ook met andere functies te experimenteren, geven we nog twee eenvoudige voorbeelden, de kanteelfunctie, $f(x) = \sin(x) + \sin(3x)/3 + \sin(5x)/5 + \dots$, en de dakkantfunctie $f(x) = \cos(x) + \cos(3x)/9 + \cos(5x)/25 + \dots$. We laten het aan de lezer over experimenteel uit te vinden hoe die functies er grafisch precies uitzien. Het laatste voorbeeld geeft overigens nog een aardig bijproduct van de Fourieranalyse, namelijk een reeks voor:

$$\pi^2/8 = 1 + 1/9 + 1/25 + 1/49 + 1/81 + \dots$$

Een karakteristiek golfpatroon verschijnt op de zaagtandgrafiek als het programma FOURIER1 is afgebroken bij een waarde voor m van 16.

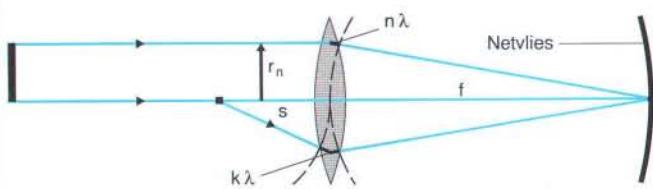
PRIJSVRAAG

Oplossing januari

De contactlens vol concentrische ringen stelde menig puzzelaar voor problemen. De vraag luidde: op welke afstanden van de lens bevinden zich de voorwerpen die scherp op het netvlies worden afgebeeld?

Van (oneindig) ver weg gelegen voorwerpen treden de lichtbundels evenwijdig in. Eén lichtstraal valt samen met de hoofdas, een andere gaat op een afstand r_n van het centrum door de n^{e} ring van de lens heen en beide worden gefocuseerd op het netvlies, tevens het brandvlak. Er geldt nu ook dat het verschil in weglengte tussen beide bundels een n aantal maal de golflengte λ bedraagt. Dit weglengteverschil, gerekend van lens tot aan brandvlak, hangt via de wet van Pythagoras samen met de brandpuntsafstand f :

$$n\lambda = \sqrt{(r_n^2 + f^2)} - f$$



zodat $r_n^2 = (f + n\lambda)^2 - f^2$
ofwel $r_n^2 \approx 2fn\lambda$ aangezien $n\lambda \ll f$. Ingeval het voorwerp op de hoofdas dichtbij, op een afstand s van het centrum ligt, ontstaat tussen een straal langs de hoofdas en een die op r_n van het centrum door de lens gaat, een weglengteverschil van k golflengtes:

$$k\lambda = \sqrt{(s^2 + 2fn\lambda)} - s + \sqrt{(f^2 + 2fn\lambda)} - f$$

Met de benadering $\sqrt{1+a} \approx 1 + a/2$ leidt dit tot:

$$k\lambda = (1 + f/s)n\lambda$$

Voor afgebeelde voorwerpen op een afstand s geldt dan:

$$s = f/(k.n^{-1} - 1)$$

Wil het voorwerp scherp op het netvlies komen moet k een veelvoud van n zijn. Met $k/n - 1 = 0, 1, 2, 3, \dots$ volgt $s = \infty, f, f/2, f/3, \dots$

Als winnende oplossing kwam die van J.H. van den Raadt uit Edam uit de hoed. Deze puzzelaar verdient een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek. Het gratis jaarrabonnement gaat deze maand naar Jeannine Schreurs uit Hasselt aangezien zij de leiderstrui bij de laddercompetitie kreeg omgehangen.

De nieuwe opgave

De professor verzorgt de training van zijn neef, die enkele weken met een aantal collega's in een ruimtevaartuig rondjes rond de aarde zal trekken. Nu is deze neef een honkbalspeler, en hij wil in de vrije ruimte de bovenhandse worp oefenen. "Tsja" zegt de professor, "laten we aannemen dat jullie met een even aantal astronauten zijn en dat de helft van jullie een even zware bal

heeft. Verder gooien jullie tegelijkertijd de bal naar een ander, steeds met dezelfde snelheid en de ballen gaan niet verloren in de ruimte." "Natuurlijk niet", lachte de neef, "we vangen elke bal die wordt gegooid." "Dan geloof ik", vervolgde de professor bezorgd, "dat er toch een einde komt aan jullie speelkwartier." De vraag van deze maand is: komt er een einde aan het overgooiden van ballen en zo ja hoe ziet de situatie er dan uit?

Oplossingen van deze opgave, die overigens beschikbaar werd gesteld door de Stichting Natuurkunde Olympiade Nederland, moeten uiterlijk 6 april 1990 aanwezig zijn op het adres:
Natuur en Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK MAASTRICHT
Goede inzenders verdienen punten voor de laddercompetitie en maken kans op een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek.



Recificatie

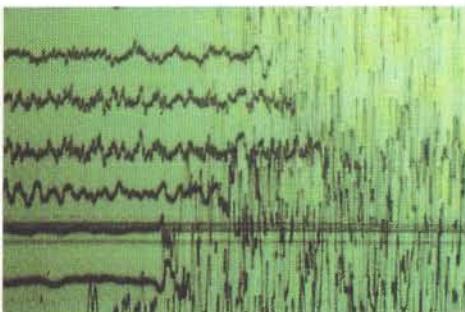
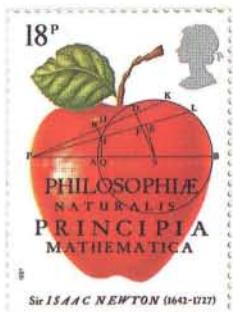
In afbeelding 3 van het artikel *Fossielen van het uur nul* in het februarinummer van Natuur & Techniek, is een storende fout geslopen. De kleuren en aanduidingen bij de horizontale banden van helium-3 en deuterium zijn met elkaar verwisseld. De blauwe band moet groen zijn en hoort bij ${}^2\text{H}$, de groene moet blauw zijn met de aanduiding ${}^3\text{He}$.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Vijfde kracht

Dr J. van Holten

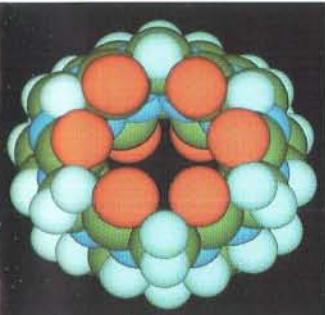
Fysici onderscheiden vier fundamentele natuurkrachten, die niet herleid kunnen worden tot andere bekende verschijnselen. Het zijn de zwaartekracht, de elektro-magnetische kracht, de zwakke en de sterke kernkracht. Misschien bestaat er echter nog een kracht, die soms de zwaartekracht een beetje tegenwerkt.



Waterinsekten

Dr R. Ducastel

Dankzij vernuftige aanpassingen kunnen bepaalde spinnen en insecten leven op het wateroppervlak, het grensvlak tussen droog en nat. De dieren zijn echter volledig afhankelijk van de fysische eigenschappen van het wateroppervlak. Zelfs de minste vervuiling brengt de levensgeschiedenis van de waterspiegel in gevaar.



Synzymen

Prof dr R. Nolte

Synzymen zijn kunstmatige moleculen die bepaalde eigenschappen van enzymen nabootsen. Een chemicus ziet een reactie het liefst snel, efficiënt en goed-

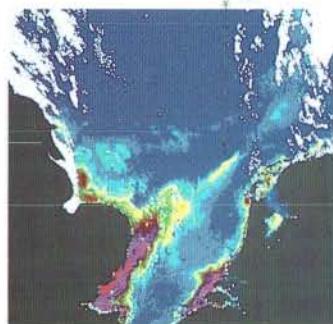


koop verlopen. Het is daarom een uitdaging katalysatoren te ontwikkelen die net zo goed zijn als enzymen en waarvan de werking op vergelijkbare principes berust.

Aardbevingen

Prof dr A. Nolet

Aardbevingen hebben grote gevolgen: voor de Aarde zelf en voor het welzijn van haar bewoners. Seismologen kunnen het tijdstip van een volgende beving op lange termijn redelijk goed voorspellen. De techniek van de korte-termijnvoorspelling, enkele dagen voor de beving, staat echter nog in de kinderschoenen.



Noordzee

Drs L. Dederen

De zee is geen bodemloze afvalput. Nu ook de zeehonden in de Noordzee ziek zijn geworden door de vervuiling, geloven we pas dat dat zo is. Om het zeemilieu te kunnen aanpakken, willen we weten wat we van milieumaatregelen kunnen verwachten. Computermodellen blijven bruikbare instrumenten om dat te voorspellen.

Ooglenseiwitten

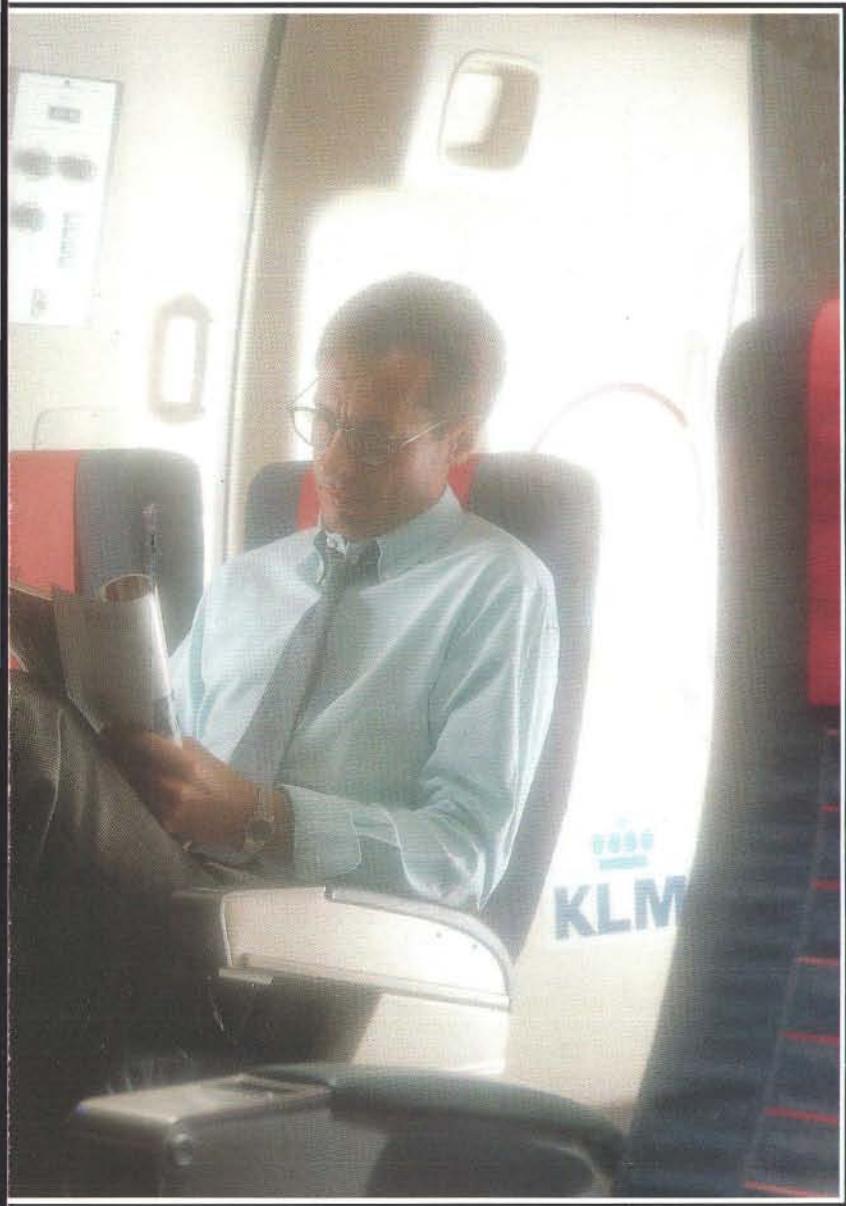
Dr C. Voorster en Dr W. de Jong

De ooglens is een uitzonderlijk orgaan. Het is volledig transparant, perfect ovaal van vorm en zorgt ervoor dat op het netvlies een scherp

beeld van de buitenwereld wordt ontstaan. Ofschoon de ooglens al sinds eeuwen onderzoekers intrigeren, hebben zij nog lang niet alle geheimen ervan weten bloot te leggen.

IK
vlieg
Ams-NY
nooit
alleen...

Hij leest z'n kranten. Hij kijkt – gedwongen selektief – televisie. Hij hoort wel eens radio. Hij kent z'n magazines. Maar als hij het écht wil weten, dan pakt hij z'n vakbladen. Die gaan door waar de algemene media moeten ophouden. Daar is hij met collega's onder elkaar. Daar toetst hij z'n eigen aanpak. Daar haalt hij uit redactie en reclame informatie waar hij mee uit de voeten kan. En daar komt hij nog eens op een produktief ideetje. Tuurlijk. Ze lezen over het algemeen niet zo luchtig als iets vluchtigs. Waar tegenover staat, dat AMS-NY op die manier een stuk vlugger gaat.



Dit is een publicatie van de Nederlandse Organisatie van Tijdschrift Uitgevers



'N BLAD IS EEN RELATIE.